

공리적 설계를 이용한 모니터용 EPS 완충 포장 설계 시스템 개발

이정욱^{*} · 하대율^{**} · 이상우^{*} · 임재문^{**} · 박경진[†]

(2002년 10월 23일 접수, 2003년 8월 7일 심사완료)

Development of Design System for EPS Cushioning Package of Monitor Using Axiomatic Design

Jeong-Wook Yi, Dae-Yul Ha, Sang-Woo Lee, Jae-Moon Lim and Gyung-Jin Park

Key Words : Axiomatic Design(공리적 설계), Independence Axiom(독립공리), EPS (Expanded PolyStyrene), Cushioning Package(완충 포장), Orthogonal Arrays(직교배열표)

Abstract

The monitor product is packed by cushioning materials because the monitor can be broken during transportation. However, the addition of the cushioning material increased the volume of the product. Therefore, it is required that the usage of cushioning material be minimized. In practice, design engineers have followed the ad hoc design with experiences of predecessors. Automation of the design process is very important for the reduction of engineering cost, and can be achieved by an excellent design process and software development. According to Axiomatic design, a design flow is defined and a software system is developed for automated design. At first, a basic model is defined. A user can modify the model from menus and design is carried out according to the input from the user. Finite element models are automatically generated based on the design. A nonlinear finite element analysis program called LS/DYNA3D is linked for the impact analysis. The process of Design of Experiments using orthogonal array is installed to minimize the maximum acceleration in drop test. Therefore, a new design can be proposed by the system. The program is designed according to the Independence Axiom of Axiomatic design. FRs and DPs of the software system are defined and decomposed by zigzagging process. Independent modules can be generated by analysis of the full design matrix and each module is coded as class in Object Oriented Programming (OOP). Design results are discussed.

1. 서 론

모니터 제품은 운반 중에 취급 부주의로 인해 서 낙하 및 충격 등의 많은 파손 위험에 노출된다. 노출된 위험으로부터 제품을 안전하게 보호하기 위해 완충 포장을 하는데, 완충재로는 발포성 폴

* 한양대학교 대학원 기계설계학과

** 한국시뮬레이션기술㈜

† 책임저자, 회원, 한양대학교 기계정보경영공학부
E-mail : gjpark@hanyang.ac.kr
TEL : (031)400-5246 FAX : (031)407-0755

리스티レン(Expanded PolyStyrene; EPS)이 널리 쓰이고 있다.^(1~5) 그러나 완충 포장재의 제비용 부담뿐만 아니라, 모니터 제품의 부피 증가로 인하여 물류 및 수송 비용이 증가한다. 따라서 포장의 부피를 줄이면서도 낙하 및 충격에 견딜 수 있는 적절한 완충 포장재 설계가 이루어져야 한다. 일반적으로 제품의 설계과정은 개념설계와 상세설계 단계로 나눌 수 있다. 현장에서 완충재의 개념설계는 전적으로 설계자의 경험에 의존하고 있다. 시작제품을 제작한 후, 낙하 충격 실험을 통하여 검증하는 반복적인 시행착오 과정을 거친다. 이는 선임자의 잘못된 전례를 그대로 따를 수 있고, 실험에 필요한 비용부담도 증가한다. 그러므로 반복

적인 과정을 줄이기 위하여 충격해석 도구를 도입하고 있다.⁽⁶⁻¹⁰⁾ 그러나, 사용상 기술 습득의 번거로움과 효율적인 설계를 위하여, 개념설계 단계에서 모니터 모델에 대한 완충 포장재 설계를 자동으로 해줄 시스템이 필요하다.⁽¹¹⁾

공리적 설계방법(axiomatic design approach)은 독립공리(Independence Axiom)와 정보공리(Information axiom)를 바탕으로 좋은 설계(good design)를 할 수 있는 방향을 제시하고 있다.⁽¹²⁻¹⁵⁾ 설계의 목적을 독립공리에 따라 정의하면, 설계과정이 순차적으로 진행될 수 있다. 그러므로 자동설계 소프트웨어 시스템 개발이 용이하다. 이에 따라, 공리적 설계를 이용한 다양한 소프트웨어 시스템이 개발되고 있다.⁽¹⁶⁻¹⁹⁾ 또한, 최근에는 객체지향 프로그래밍(object oriented programming) 기법이 공리적 설계에 적용되었다.^(20,21) 공리적 설계방법에 의하여 설계과정을 정의하면 자동적으로 소프트웨어 시스템을 구축할 수 있다.

개념설계 단계에서 EPS 완충재의 유한요소 해석모델을 자동으로 구성하고 해석을 실행하여 결과를 실무자에게 보여줌으로써 완충재를 보다 효과적으로 설계할 수 있는 설계 시스템을 개발하고자 한다. 모니터용 EPS 완충재의 설계과정을 공리적 설계방법에 의하여 정의하고, 소프트웨어 시스템을 구축한다. 개발과정에서 다양한 모니터에 적용할 수 있는 EPS 형상에 대한 기본모델을 제안한다. 또한, 상세설계 단계에서 좋은 설계 안을 제시하기 위하여, 직교배열표(orthogonal array)를 이용한 실험계획법을 실시할 수 있도록 한다. 직교배열표의 이용으로 실험의 반복과정을 논리적으로 구성하고 모의실험에 따른 시간을 단축할 수 있다.^(22,23) 개발된 소프트웨어를 사용하면, 실무자는 해석분야에 해박한 지식 및 경험이 없어도 되며, 시스템이 자동으로 모델을 구성 및 변경해 줌으로써 개념설계에서 상세설계까지의 기간을 단축할 수 있다. 또한, 해석 결과를 바탕으로 이전보다 체계적인 제품개발이 가능하다.

2. 배경

2.1 공리적 설계의 개요

공리적 설계방법에서 설계는 사람들이 원하는 목적(what we want to achieve)과 목적을 달성하기 위하여 수행하는 방법(how we want to achieve it) 사이의 상호작용으로 정의된다.⁽¹²⁾ 설계자는 기능적 영역(functional domain)에서 설계의 목적을 기능요

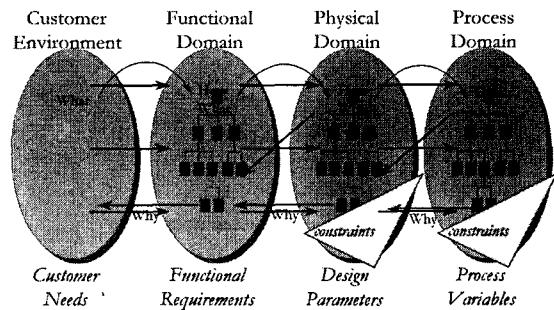


Fig. 1 Concept of domain, mapping and spaces

구(functional requirements; FRs)로 정의하고, 물리적 영역(physical domain)에서 각 기능요구를 구현하기 위한 방법을 설계파라미터(design parameters; DPs)로 정의한다. 각 영역에서 정의된 FRs 와 DPs 는 계층구조(hierarchical structure)를 갖는다. 공리적 설계방법에서 설계과정은 Fig. 1 과 같다. 먼저, 사용자 요구(customer needs)에 따른 FRs 를 기능적 영역에서 정의한다. 다음으로 각 FR 을 구현하기 위한 방법을 물리적 영역에서 DP 로 정의한다. 즉 기능적 영역의 FRs 를 물리적 영역의 DPs 로 영역 간 사상(mapping)을 시킨다. 마지막으로 각 FR 을 하위수준(level)의 FRs 로 분해한다. 이때 상위수준의 해당하는 DP 는 FR 을 분해하는 기준이 된다. 이와 같은 과정을 지그재그과정(zigzagging)이라고, 최하위 수준(leaf level)까지 진행된다.

기능요구와 설계파라미터 사이의 사상 관계는 식 (1)과 같이 설계행렬(design matrix; DM)로 나타낼 수 있다.

$$\{FRs\} = [A]\{DPs\} \quad (1)$$

예를 들어, 2 개의 기능요구를 갖는 설계행렬이식 (2)와 같다고 하자.

$$\begin{cases} FR1 \\ FR2 \end{cases} = \begin{bmatrix} X & O \\ X & X \end{bmatrix} \begin{cases} DP1 \\ DP2 \end{cases} \quad (2)$$

설계행렬 [A]의 요소에서 'X'는 관계가 있음을 표시하고 'O'는 관계없음을 나타낸다. FR1 의 기능은 DP1 으로 조절할 수 있으나 FR2 의 기능은 DP1 과 DP2 에 의하여 조절해야 한다. 그러므로, 식 (2)의 설계는 순차적으로 설계과정을 진행시키는 한 FR1 과 FR2 가 상호 독립적이다. 이러한 설계를 비연성화설계(decoupled design)라 한다. 독립공리에 따르면, 지그재그과정이 진행되는 동안 기

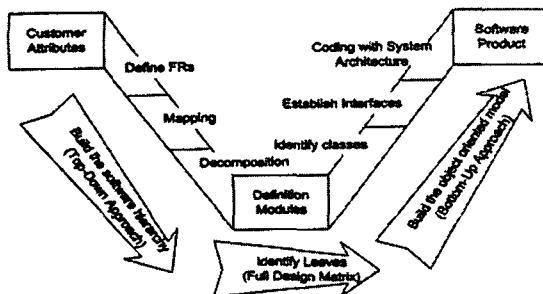


Fig. 2 Axiomatic design process for object-oriented software system (the V model)

능요구를 정의할 때 상호간의 독립성을 유지해야 한다. 이 결과, 설계목적을 구조적으로 정의할 수 있고, 설계과정은 순차적으로 진행될 수 있다. 그러므로 소프트웨어 시스템의 모듈을 설계목적에 따라 정의하면, 프로그램 변수들의 범위(scope)도 명확해져 소프트웨어 개발이 쉽고, 시스템의 설계 과정이 순차적으로 진행되어 피드백과정을 줄일 수 있다.

2.2 공리적 설계방법의 소프트웨어에의 적용
 소프트웨어 설계 시, 시스템 모듈(module)은 독립적으로 구성해야 한다.⁽²⁴⁾ 물리적으로 독립적인 모듈이 기능적으로 독립을 유지하기 위해서는 공리적 설계방법의 도입이 필요하다. 최근 기계시스템에서의 기능적 독립을 객체지향 프로그래밍(object oriented programming; OOP)에 효과적으로 도입한 V 모델이 소개되었다.^(15,21) V 모델은 Fig. 2 와 같이 하향식 접근을 통하여 기능적으로 독립인 모듈을 구성하고, 상향식 접근을 통하여 객체지향적 코드를 완성한다. Fig. 2 의 과정을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

- I. 최상위 수준에서, 사용자 요구에 따른 기능 요구(FRs)와 제한조건(Cs)을 정의한다.
- II. 정의된 FRs 에 대한 설계파라미터(DPs)를 결정한다. 이때 각 FR 의 독립성을 유지해야 한다.
- III. 상위수준의 DP 를 기준으로 하위수준의 FR 을 분해한다(지그재그 과정).
- IV. 전체 설계행렬(full design matrix)을 완성하여 모듈을 정의한다.
- V. 정의된 모듈의 관계에 따라서 객체를 설정하고 클래스화 한다.

모니터용 EPS 완충 포장재 설계 시스템은 위의 과정을 통하여 개발한다.

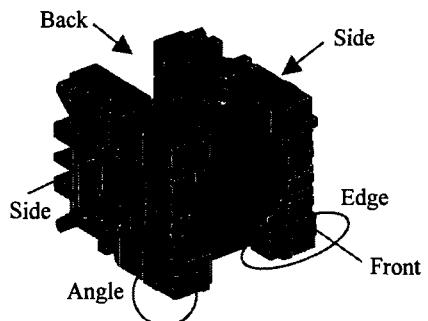


Fig. 3 Direction of drop testing

2.3 직교배열표를 이용한 실험계획법

직교배열표는 실험계획법의 일부실시법에 사용된다. 일부실시법은 불필요한 교호작용이나 고차의 교호작용은 구하지 않고 각 인자의 조합 중에서 일부만 선택하여 실험을 실시하는 방법이다. 일부실시법 중에서 몇 가지 인자들을 동시에 연구하기 위하여 여러 가지 형태의 행렬실험이 사용된다. 직교배열표를 이용하여 행렬실험을 할 경우, 요인간에 직교성(orthogonality)을 갖도록 실험을 계획하여 데이터를 구하는데, 같은 실험횟수라도 검출력이 더 좋은 검증을 할 수 있고, 정도가 더 좋은 추정을 할 수 있는 것으로 밝혀져 있다.⁽²²⁾

개발할 설계 시스템은 선정된 직교배열표에 따른 반복과정을 거쳐 최적의 형상을 제안한다.

3. 자동설계 시스템을 위한 개념설계

3.1 완충 포장재 설계

현장에서 완충 포장재 설계는 모니터 설계가 끝난 후, 적당한 시기에 실시된다. 설계 팀에 새로운 모니터 형상에 대한 3 차원 CAD 데이터가 전달되면, 내부의 전자부품 조립 및 강도 유지를 위한 내부 형상설계를 실시한다. 모니터의 내부설계를 완성하면, 금형가공을 발주하고 남은 기간동안에 완충재 설계를 한다. 모니터와 완충재의 금형이 동시에 완성되어야 하므로 완충재 설계 기간은 매우 짧다.

설계된 완충재는 검사기간 동안 낙하 충격실험을 수행하여 검증한다. 이 실험은 설계된 모델을 검증하는 것으로 매우 중요한 의미를 갖는다. 보통, 낙하는 모니터의 중량에 따라 정해진 일정 높이에서 Fig. 3 과 같이 완충 포장재의 1 각 3 능 6 면(1 angle 3 edge 6 face)에 대해 수행한다. 실제 제

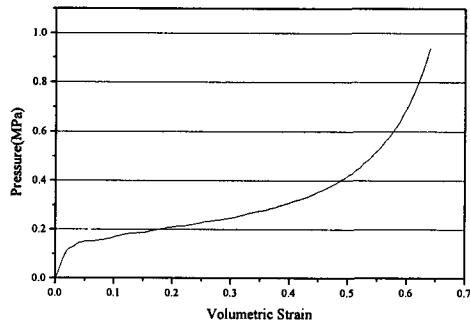


Fig. 4 Pressure-strain curve of cushioning material

품에 적용되는 포장재는 주로 압축하중에 대한 저지능력을 관심의 대상으로 삼고 있으며, 해석시 적용되는 물성치의 특성으로는 Fig. 4 와 같이 압축체적변형율에 대한 압력의 선도로 규정된다. 낙하실험의 결과로 측정되는 것은 식 (3)의 감속도(G) 값으로 환산한 최대치가 각 방향에 대한 한계치 이하로 되어야 한다.⁽⁴⁾

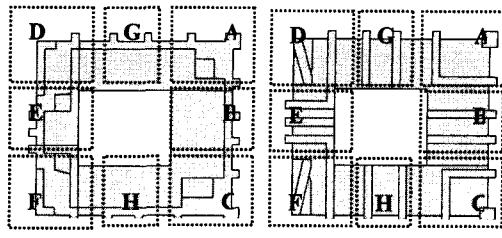
$$G = \frac{a}{g} \quad (3)$$

where, a : acceleration measured on center of a front CRT (Cathode Ray Tube) monitor
 g : gravity acceleration

한계치 이상이 검출되면 모델을 수정하여 반복실험을 하므로 많은 재료와 시간의 손실이 발생한다. 따라서 실험과 해석을 병행하여 재료의 낭비를 줄이며 시간을 보다 효율적으로 이용할 수 있다. 또한 다양한 경우에 대한 해석결과를 바탕으로 체계적인 설계 방법의 구성이 가능하다.

3.2 완충재 기본모델

최근 들어, 다양한 소비자의 요구에 따라서 모니터 제품의 개발기간이 단축되고 있으며, 외형 디자인도 어떠한 일관된 틀이 없는 새로운 형상을 갖는다. 그러므로 빠르게 변화하는 새로운 모니터 형상에 따른 완충재 형상을 자동으로 설계하는 소프트웨어의 제작은 사실상 불가능하다. 그러나 모니터의 형상이 바뀌어도 완충재와 모니터 사이의 접촉부위는 대부분 비슷하다. 또한, 낙하실험 시 감속도 저하에 기여하는 인자로는 완충재 외측에 추가되는 리브(rib)의 위치, 완충재의 두께, 내측의 모니터와 접촉하는 부위의 크기 등의 몇 가지로 한정할 수 있다.⁽¹¹⁾ 그러므로 완충 포장재 자동설계 시스템에서 감속도 저하에 기여하는 주요부분



(a) Inner part (b) Outer part

Fig. 5 Subdivision of basic model

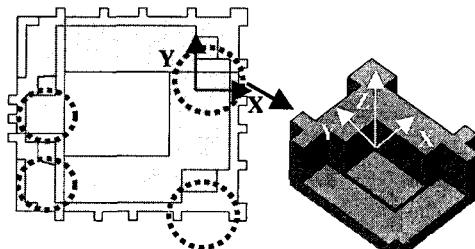


Fig. 6 The contact area for inner cushioning material

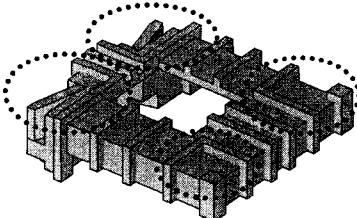


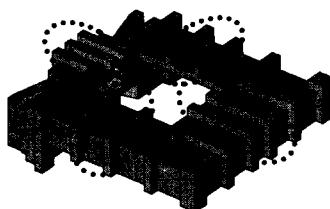
Fig. 7 The main rib for outer cushioning material

만을 설계변수로 설정하여, 기본모델을 제안하였다. 제안된 기본모델은 기존의 완충 포장재 모델과 유사한 형상으로 모델변경 및 시뮬레이션 해석의 편의를 위하여 단순화하였다. Fig. 5 와 같이, 기본모델은 전면의 위, 가운데, 아래측(A, B, C)과 후면의 위, 가운데, 아래측(D, E, F) 그리고 위/아래면의 가운데측(G, H)인 8 부분으로 세분할 수 있다.

모니터 외측과 완충재의 내측이 접촉하는 부위는 그 면적에 따라 감속도에 민감한 영향을 미친다. 그러므로 Fig. 6 과 같이 모니터의 모서리 부분과의 접촉부위 4 부분마다 X, Y, Z 방향으로의 접촉크기를 설계변수로 정의하였다. 또한, 완충재의 크기 및 모니터의 크기, 중량에 따른 완충재의 두께가 변경될 수 있도록 설계변수로 정의하였다. 리브(rib)는 완충재 외측에 볼록하게 튀어나온 부분으로 완충효과를 높이는 중요 인자이다. 제안된 기본모델에서는 내측의 접촉부위 대한 4 곳의 외측 모서리 부분의 리브를 “주요리브”라 하고 각 모서리 부분 사이에 위치하는 리브를 “보조리브”

Table 1 Top level FRs of design system for EPS cushioning package of monitor

| | FRx | | | | | DM0 | | | | | DPx | | | | |
|----|--|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|
| | X | O | O | O | O | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| 1 | Setting up the options | | | | | | | | | | | | | | Option information data |
| 2 | Construct the data set for modeling and simulation | X | X | O | O | O | | | | | | | | | Data for modeling and drop test |
| 3 | Generate FEM model of the cushioning material | X | X | X | O | O | | | | | | | | | Design variables of cushioning material |
| 4 | Recommend the good design value through simulation analysis | X | X | X | X | O | | | | | | | | | DYNA3D input deck |
| 5 | Manage the design data | X | X | X | X | X | | | | | | | | | Data manager |
| C1 | Windows O/S (95, 98, NT 4.0) environment | | | | | | | | | | | | | | |
| C2 | Graphical User Interface (GUI) environment | | | | | | | | | | | | | | |
| C3 | Be able to use a person that is lack of knowledge of analysis tool | | | | | | | | | | | | | | |

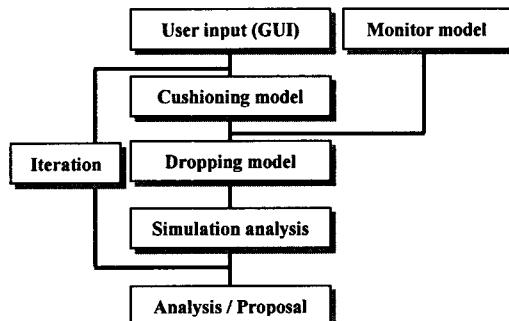
**Fig. 8** The assistant rib for outer cushioning material

라 하였다. 주요리브는 접촉부위의 바깥쪽에 위치하므로 보조리브보다 완충작용에 미치는 영향이 크다. 따라서 외측의 주요리브는 Fig. 7과 같이 내측의 접촉부위보다 약간 옆에 위치시켜 단순지지 보의 효과를 내도록 배치하였다. 또한 리브의 크기 변경 및 경우에 따라서는 제거가 가능하도록 설계변수로 정의하였다. 보조리브는 Fig. 8과 같이 전/후, 위/아래면의 가운데에 위치하며, 리브의 개수 및 크기의 변경이 가능하며 경우에 따라서는 제거가 가능하도록 정의하였다.

3.3 자동설계 시스템 구성

자동설계 시스템은 Fig. 9와 같이 구성된다. 설계자가 완충재 기본모델에 따른 설계인자를 입력하면, 시스템은 LS/INGRID라는 전처리기를 사용하여 완충재 및 박스의 유한요소 모델을 자동으로 생성한다.⁽²⁵⁾ LS/INGRID는 스크립트 명령에 의한 입력파일을 작성하면 실행이 가능하다. 다음으로 생성된 모델을 주어진 모니터의 유한요소 모델과 결합하여 LS/DYNA3D를 이용한 낙하 충격해석을 실시한다.^(26,27) LS/DYNA3D에서는 낙하 충격해석과 같은 동적해석을 수행하기 위한 시간적분방법으로 외연적, 중앙차분법(explicit, central difference method)을 사용한다.

낙하 충격해석은 직교배열표에 의하여 반복적으로 수행된다. 최종적으로 반복해석에 의하여 도출된 결과가 설계자에게 제시되고, 실험계획법에 서의 평균분석(ANOM)에 의하여 인자로 선정된

**Fig. 9** Design flow of the design system for EPS cushioning package

형상치수에 대한 최적의 값을 제안한다. 이렇게 설정된 설계치수에 의하여 완충 포장재의 형상이 완성된다.

4. 자동설계 시스템 개발

4.1 최상위 수준의 기능요구(FRs) 정의 및 DPs 결정

공리적 설계 방법에 따르면, 먼저 사용자의 요구(CAs)를 고려해야 한다. 프로그램 사용자는 설계 경험은 풍부하나 해석 시뮬레이션에 대한 지식이 부족하다. 그러므로 사용자가 해석을 위하여 작성하는 입력을 최소한 줄여야 하고, 해석기와는 내부적으로 연계되어야 한다. 또한 설계기간을 단축하기 위해서 해석횟수를 줄여야 한다. 위에서 열거한 사용자 요구에 따른 최상위 레벨에서의 기능요구와 설계파라미터를 선정하면 Table 1과 같다. 표에서 C1, C2, C3는 설계과정 전반에 걸쳐 적용되는 제한조건이다.

FR1은 프로그램의 옵션을 설정한다. 해석도구의 디렉토리 설정 및 사용자에게 주어지는 메시지 출력에 관련된 것과 재료의 물성치를 추가한다.

Table 2 First level FRs for FR2.x

| | FR2.x | | | DM2 | | | DP2.x | | |
|---|---|--|--|-----|---|---|---------------------------------------|--|--|
| P | Construct the data set for modeling and simulation | | | | | | Data for modeling and drop test | | |
| 1 | Construct the modeling data for monitor | | | X | O | O | Modeling data for monitor | | |
| 2 | Construct the modeling data for cushioning material | | | O | X | O | Modeling data for cushioning material | | |
| 3 | Construct the condition data for drop test | | | O | O | X | Dropping condition | | |

Table 3 Leaf level FRs for FR42232

| | FR42232.x | | | DM42232 | | | DP42232.x | | |
|---|---|--|--|---------|---|--|------------------------------------|--|--|
| P | Generate the input deck file of DYNA | | | | | | commands for LS/DYNA3D input files | | |
| 1 | Generate the file for velocity and gravity | | | X | O | | commands for "vel_gra.dyn" file | | |
| 2 | Generate the file for wall which impacts with cushioning material | | | O | X | | commands for "rigidwall.dyn" file | | |

FR1 을 이루기 위한 DP1 은 옵션 설정 데이터이다. FR2 는 낙하실험을 시뮬레이션 해석하기 위한 정보를 설정한다. 이를 위하여 사용자는 물성치를 결정하고 모니터 유한요소 모델 정보와 낙하실험을 위한 낙하방향 정보 등을 설정해야 하므로 DP2 가 된다. FR3 는 완충 포장재 모델링 파일을 자동으로 생성한다. 사용자는 시스템에서 주어진 완충재의 치수들을 설계경험을 바탕으로 변경할 수 있다. 그러므로 DP3 는 설계변수로 설정된 완충재의 치수 정보이다. FR4 는 해석을 실행하고 결과를 분석하여 출력한다. DP4 는 해석 시뮬레이션을 실행하기 위한 입력파일에 해당한다. FR5 는 설계단계 전체에 대한 데이터를 관리하는 기능을 한다. DP5 는 현재의 설계단계 정보와 저장파일 이름 등이다. 설계관계를 나타내는 설계행렬(design matrix; DM)은 Table 1 과 같고, 역삼각형이므로 비연성화설계(decoupled design)이다. 이는 설계를 순서대로 진행하는 한 독립공리를 만족한다.

4.2 지그재그 과정을 통한 FRs, DPs 의 분해

DPx 를 기준으로 상위수준의 FRx 를 분해할 수 있다. 특히, FR2 는 3 가지 기능으로 분해할 수 있다. 모니터에 대한 정보를 입력 받는 기능(FR21), 완충재의 물성을 설정하는 기능(FR22), 낙하실험 조건을 설정하는 기능(FR23)로 분해한다. Table 2 는 분해된 FR2x, DP2x 와 설계행렬을 나타낸다. 나머지 FRs 도 같은 방법으로 분해할 수 있다. 분해 과정은 더 이상 분해될 수 없는 끝 단(leaf)까지 진행되며 Table 3 은 FR4 의 끝 단인 FR42232x, DP42232x 와 설계행렬을 나타낸다. DP42232 는 LS/DYNA3D 해석을 실행하기 위한 입력파일을 생성하는 명령들이다. 분해과정에서 독립공리를 만족하므로, 다음 단계에서 소프트웨어 모듈을 독립적으로 구성할 수 있다.

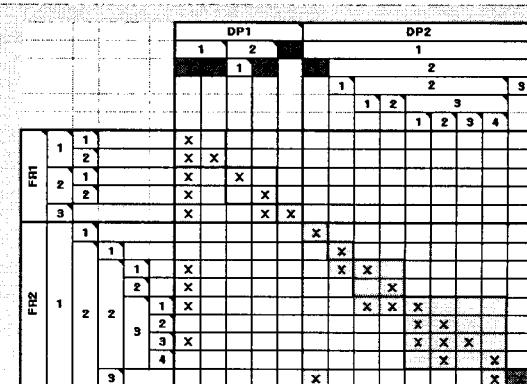


Fig. 10 The full design matrix from FR1 to FR212

4.3 모듈 정의 및 객체지향적 프로그래밍에 의한 객체 설정

지그재그 과정을 통하여 모든 FRs 와 DPs 의 관계를 나타내는 전체적인 설계행렬(full design matrix)이 완성된다. 전체 설계행렬은 소프트웨어 모듈을 정의하는데 이용한다. Fig. 10 에는 실제로 완성된 전체 설계행렬 중에서 FR1 부터 FR212 까지의 일부분만을 나타냈다. 모듈정의 시, 설계행렬의 행(row)은 FRx 로 하나의 모듈이 될 수 있고 설계행렬의 열(column)은 모듈의 기능을 이루기 위한 입력 변수, 참조 변수, 출력 변수 등이 된다. Fig. 2 에서 기술한 하향식 분해를 통하여 정의된 각 기능에 대한 모듈은 상향식 과정에 의하여 객체지향적 프로그래밍의 객체로 정의할 수 있다. 객체는 속성(attributes)과 행위(method) 및 관계(relationship)로 이루어지는데, 설계행렬에서 속성 및 행위는 DPs 에 해당하고, 이를 사이의 관계는 행렬의 원소인 “X”에 해당한다. 개발된 소프트웨어에서 객체는 크게 각 FR1~FR4 에 대하여 정의

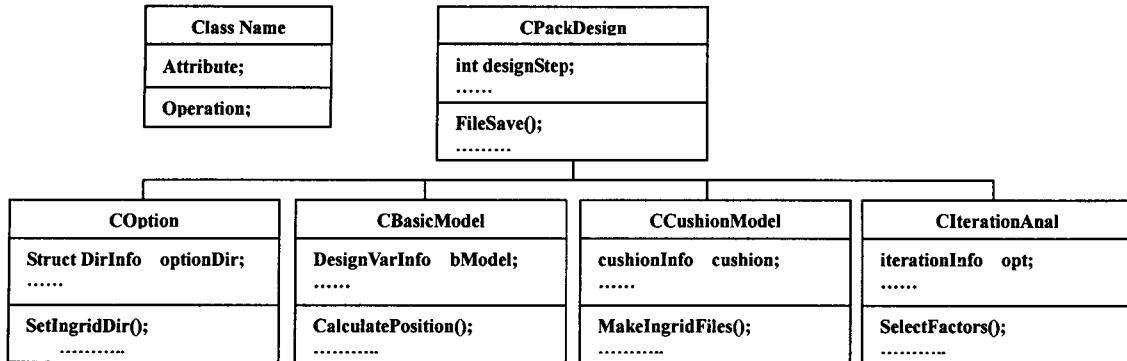


Fig. 11 Class diagram of PackDesign software

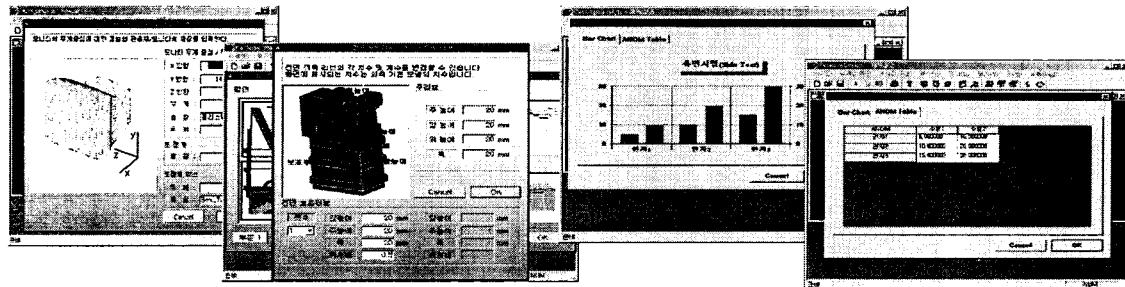


Fig. 12 The input/result screen of PackDesign software

되었다. 각각은 FR1의 기능을 하는 COption 객체와, FR2의 CBasicModel 객체, FR3의 CCushionModel 객체, FR4의 CIterationAnal 객체이다. FR5는 각종 설계정보를 관리하는 기능으로 데이터 구조를 읽고, 저장하는 행위를 하며, 소프트웨어의 전 모듈을 실행하는 CPackDesign 객체도 포함되었다. 이에 대한 구조는 Fig. 11과 같다.

4.4 소프트웨어 완성

정의된 객체를 클래스화 하여 소프트웨어 실행 코드를 완성한다. Fig. 12와 같이 작성된 소프트웨어는 현장 설계자들이 친숙하게 쓸 수 있도록 GUI(Graphic User Interface) 환경 하에서 구동 된다. 사용자는 모니터 유한요소 모델 파일을 지정하고 모니터 관련 입력 값과 물성을 설정하며 설계경험을 바탕으로 완충 포장재에 대한 설계변수들을 변경하여 자동해석을 실시한다. 이 때, 사용되는 모니터는 포장재와 접촉하는 외관만을 유한요소화 한 후, 전체적인 질량의 균형을 위해 질량중심에 실제의 모니터 질량에 상당하는 요소를 첨가하였다. 반복적인 해석을 선택 시, 시스템은 내부적으로 해석을 위한 입력파일을 생성하여 직교배열표에 의한 반복해석을 실시한다. 또한 반복해석 후,

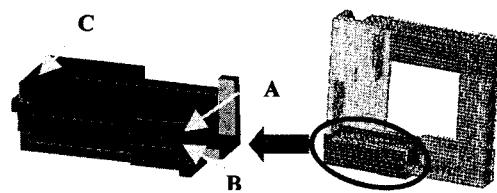


Fig. 13 Selected factors

결과값을 분석하여 최소의 감속도(G) 값을 갖는 형상의 치수들을 제시한다. 이를 통하여 설계자는 실제 실험을 행하지 않고 간접경험을 할 수 있다.

5. 포장재 낙하해석 및 설계변경

상기 개발된 소프트웨어를 이용하여 포장재의 낙하해석 및 설계변경 과정을 수행하였다. 일반적으로 모니터 포장제품의 낙하방향 중 후면낙하에 의한 충격이 모니터 손상에 많은 영향을 미친다. 그러므로 낙하해석 및 설계변경의 목적으로 후면낙하에 대한 충격 감속도를 살펴보고 이를 저감시킬 수 있는 파라미터를 알아보자 하였다. 포장재의 형상을 결정짓는 파라미터들 중, 후면

Table 4 Level values for each factor (unit: mm)

| Factor | Level | | |
|--------------------|-------|----|----|
| | 0 | 1 | 2 |
| Vertical size (A) | 25 | 30 | 35 |
| Height (B) | 25 | 30 | 35 |
| Rear thickness (C) | 15 | 20 | 25 |

Table 5 Result values after analysis

| Expt. No. | Column number and factor assigned | | | | Results |
|--------------|-----------------------------------|---------------|---------------|--------------|---------|
| | 1 A | 2 B | 3 C | 4 ignored | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31.4 |
| 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 31.4 |
| 3 | 0 | 2 | 2 | 2 | 33.9 |
| 4 | 1 | 0 | 1 | 2 | 34.2 |
| 5 | 1 | 1 | 2 | 0 | 34.2 |
| 6 | 1 | 2 | 0 | 1 | 24.7 |
| 7 | 2 | 0 | 2 | 1 | 35.8 |
| 8 | 2 | 1 | 0 | 2 | 25.9 |
| 9 | 2 | 2 | 1 | 0 | 33.4 |

낙하시의 결과에 영향을 미친다고 판단되는 인자 3 개를 선택하여 설계변경을 수행하였다. 선택된 인자는 Fig. 13 과 같이 후면 아래측 접촉면의 세로, 높이와 완충재 후면의 두께이다. 이들에 대한 각 수준값은 Table 4 와 같이 설정하였고, L9(3⁴) 직교배열표에 따라 해석을 수행하였다. 설정된 직교배열표에 대하여 소프트웨어는 순서대로 각 인자를 직교배열표의 열(column)에 배치하고 나머지 열은 교호작용을 고려하지 않으므로 무시(ignore) 한다. 각 설계변화에 대한 낙하 충격해석을 수행한 결과는 Table 5 와 같다. 교호작용을 고려하지 않으므로, 1 원표를 작성하여 최적조건을 구하면 A₁, B₁, C₀ 을 얻을 수 있다. 이 조건하에서 시스템을 통하여 자동으로 확인실험을 실시한 결과는 26.7 이다. 그러나 최종적인 최적조건은 6 번째 실험에서의 A₁, B₂, C₀ 로 선택되었다. 실제로 현장에서 기계설계를 할 때, 교호작용에 의한 영향으로 평균분석에 의한 최적조건보다 더 좋은 조건이 직교배열표의 결과에 나타날 수 있다. 왜냐하면, 직교배열표는 요인배치법과는 달리 각 인자의 조합 중에서 일부만 선택하여 실험을 실시하기 때문이다. 이 경우, 설계자는 직교배열표에 나타난 최적 조건을 선택할 수 있다.

6. 결 론

공리적 설계에 의하여 모니터용 EPS 완충 포장

재의 설계과정을 분석하고, 자동설계 소프트웨어를 개발하였다. 다양한 모니터 형상에 적용할 수 있도록 완충 포장재의 기본모델을 제안하였고, 설계변수화 하였다. 소프트웨어 개발 시, 독립공리에 따라서 포장재 설계과정을 분해한 결과 비연성화 설계가 되었고, 이 순서에 따라 포장재 설계과정을 소프트웨어 설계과정에 적용할 수 있었다. 독립공리를 만족하는 각 기능은 소프트웨어의 모듈이 되었고 객체지향적 프로그래밍과 접목하여 객체를 구성할 수 있었다. 개발된 소프트웨어는 현장에 설치되어 새로운 모니터에 적용하고 있다. 개념설계 단계에서 설계자는 간단한 입력 값의 설정으로 해석기에 대한 지식이 없어도 모의실험의 결과를 쉽게 얻을 수 있고, 설계변수의 변경에 따른 설계경험을 실제 설계에 이용할 수 있다. 또한 직교배열표를 이용한 반복실험을 통하여 적절한 완충 포장재 치수들을 구할 수 있다. 현재 일부 한정된 모니터 모델에만 적용할 수 있으므로 확장된 모니터 모델에 적용할 수 있는 모듈을 추가하고, 새로운 대상에 적용할 수 있는 가능성을 남기고 있다.

후 기

이 연구는 한국과학재단지정 최적설계신기술센터의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Japan Packaging Institute, 1999, *What is packaging*, Taehakwon.
- (2) KDPC, 1988, "Cushioning Package," *Package Engineering*, Vol. 6, No. 33, pp. 18~30.
- (3) Paine, Frank Albert, 1991, *The Packaging User's Handbook*, Blackie and Son.
- (4) CS-Center, 1995, *Packaging Design Manual*, Samsung Electronics Co.
- (5) Park, J.M., Kwon, S.K., Um, S.H. and Kim, M.S., 1988, "Design of Measuring System of Cushioning Performance for Packaging Materials," *Korean Society of Food Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 123~128.
- (6) Kang, E., 1998, "Application of CAE in Samsung Electronics Co.," *Journal of the KSME*, Vol. 38, No. 6, pp. 65~68.
- (7) Choi, S.S. and Lee, J.K., 1997, "Optimization of Impact Analysis with Pulp Mold Cushioning Material," '97 CAE for Industry in the Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 87~94.
- (8) Chun, S.P., 1993, "CAE and Experimental Methods for the Structural Design of Consumer Electronics

- Products," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 33, No. 7, pp. 648~660.
- (9) Chung, W.J., Boo, S.W., Chun, S.P. and Kim, D.C., 1995, "Impact analysis of electronic," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 35, No. 8, pp. 678~690.
- (10) Kim, H.B.L., Park, S.H. and Kim, W.J., 2000, "A Study on the Cushion Package Design of a Monitor using Finite Element," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 17, No. 12, pp. 88~93.
- (11) CAE-Team, 2000, *A Study on the Analysis of EPS Cushioning Material*, KOSTECH.
- (12) N.P. Suh, 1990, *The Principles of Design*, New York: Oxford University Press, 1990.
- (13) Suh, N.P., Sekimoto S., 1990, "Design of Thinking Design Machine," *Annals of the CIRP*, Vol. 39/1, pp. 145~148.
- (14) Suh, N.P., 1995, "Axiomatic Design of Mechanical System," Special 50th Anniversary Combined Issue of the Journal of Mechanical Design and the Journal of Vibration and Acoustics, Transaction of the ASME, Vol. 117, pp. 1~10.
- (15) Suh, N.P., 2001, *Axiomatic Design: Advances and Applications*, New York: Oxford University Press, 2001.
- (16) Do, S.H. and Park, G.J., 2001, "Application of Design Axioms for Glass Bulb Design and Software Development for Design Automation," *Journal of Mechanical Design of the ASME*, Vol. 123, Issue 3, pp. 322~329.
- (17) Park, G.J., Do , S.H. and Suh, N.P., 1999, "Design and Extension of Software Systems Using the Axiomatic Design Framework," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 23(A), No. 9, pp. 1536~1549.
- (18) Kim, S. J., Suh , N. P. and Kim, S. G., 1991, " Design of Software System Based on Axiomatic Design," *Annals of CIRP*, Vol. 40, No. 1, pp. 165~170.
- (19) Do, S.H., 1997, "Application of Design Axioms to the Design for Manufacturability for the Television Glass Bulb," Ph. D. Thesis, Hanyang University, Seoul, Korea. .
- (20) Booch G., 1994, *Object-Oriented Analysis and Design with Applications*, 2th ed., California: The Benjamin/Cummings Publishing Company.
- (21) Do, S.H. and Suh, N.P., 1999, "Systematic OO Programming with Axiomatic Design," *Computer*, Vol. 32, No. 10, pp. 121-124.
- (22) Park, S.H. 1982, *Design of Experiments*, Daeyoung-Sa.
- (23) Yi, J.W., Park, J.S., Lee, K.H. and Park, G.J., 2001, "Development of an Optimization Algorithm Using Orthogonal Arrays in Discrete Design Space," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 25(A), No. 10, pp. 1621~1626.
- (24) Roger S. Pressman, 1997, *Software engineering: A practitioner's approach*, 4'th ed., McGraw-Hill.
- (25) LSTC, 1998, *LS/INGRID Manual Ver.3.5*, California.
- (26) LSTC, 1998, *LS/DYNA Theory Manual*, California.
- (27) LSTC, 1999, *LS/DYNA User's Manual Ver.950*, California.