

주름판의 강성 및 진동수 해석 프로그램 개발

Development of Rigidity and Frequency Analysis Program for Corrugated Plates

김영완·정 강·박경조

Young-Wann Kim, Kang Chung and Kyung-Jo Park

Key Words : Corrugated Plate(주름판), Corrugation Shape(주름형상), Frequency(진동수), Rigidity (강성), Smeared Theory(확산이론), Automatic Design(자동설계)

Abstract : A program is developed to analyze and design the frequency and rigidity of the corrugated plates with various corrugation shapes (the considered corrugation shapes are triangular and trapezoidal) and 36 kinds of boundary conditions using smeared theory. The system is consisted of input, solution and output routines, and its routine is made up pull down menu type and run in Window basis using Visual Basic Language. The input routine helps the design engineers to make the input data user friendly. The solution routine uses the homemade solver. In the output routine, automatic designs can be done using AutoCAD and Intent Tool package by interfacing the input data.

1. 서 론

판 요소는 많은 산업분야에 널리 이용되는 구조 요소으로써 설계조건에 맞는 충분한 강성을 갖도록 하여야 한다. 판 구조물의 강성을 증가시키기 위해 두께를 증가시킬 수 있으나 이것은 무게의 증가 등을 초래하여 두께를 늘리는 것에는 한계가 있다. 따라서 구조물에 충분한 강성을 주기 위한 다른 방법이 사용되어야 한다. 이들 방법 중에는 보 형상의 보강재로 판 구조물을 보강하는 방법으로 이를 일반적으로 보강판이라 하며, 또 다른 방법은 평판을 파형, 산형, 사다리꼴형 등으로 주름잡아 강성 등의 부하능력을 향상시키는 방법으로 이를 주름판이라 한다.

보강판이나 주름판은 자동차, 항공기, 해양구조물 등의 응용 구조물에 널리 이용되고 있다. 이들 구조물은 다양한 형태의 동하중을 받을 수 있으며, 이로 인해 구조물들이 경우에 따라 공진이 발생되며, 심한 경우 파괴까지 이를 수 있다. 항공기 등과 같이 민감한 구조물은 공진이 아니더라도 진동

은 구조물의 안전에 치명적일 수 있기 때문에 구조물의 동적 거동을 분석하여 설계에 이용되어야 한다. 이와 같이 동적 거동을 분석하기 위해 우선적으로 진동해석이 이루어져야 하며 진동해석을 위해서는 구조물의 강성이 결정되어야 한다. 그러나 이러한 주름판은 그 이용 정도에 비해 기하학적 형상으로 인하여 엄밀한 강성계수를 결정하는 데는 상당한 어려움이 뒤따라 주름판을 설계할 때 활용할 수 있는 기본 데이터가 제대로 마련되어 있지 않은 실정이다.

보강판이나 주름판을 이론적으로 해석하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 방법은 보강재나 주름 하나 하나의 강성을 판에 고르게 분포 시켜 일정 두께를 갖는 직교 이방성 판으로 간주하여 해석하는 방법으로 확산 이론이라 한다^{1,2)}. 이 방법은 보강재나 주름수가 많은 경우에만 적용 가능하다. 그러나 실제 구조물에서는 보강재가 근접해 있지 않거나 주름수가 많지 않은 경우도 있기 때문에 이 방법은 모든 보강판이나 주름판에 적용할 수 없다. 이를 극복하기 위해 개발된 방법으로 개개의 보강재나 주름을 하나의 구조요소로 취급하여 해석하는 방법으로 이산이론이라 한다^{3, 4)}. 이 방법은 보강재나 주름이 적은 경우에

접수일 : 2001년 12월 12일

김영완, 정 강, 박경조 : 여수대학교 기계자동차공학부

는 쉽게 적용할 수 있으나 보강재나 주름수가 많은 경우에는 많은 해석시간이 요구되며, 보강재나 주름 형상이 복잡해질 경우 거의 해석이 불가능하다는 단점이 있다. 한편 보강재의 형상이나 주름판의 형상이 복잡해짐으로써 이론해석을 할 때 수식적으로 매우 복잡해져 기존의 방법은 거의 불가능하다. 이와 같은 한계를 극복할 수 있는 방법은 보다 접근이 용이한 유한요소법이나 유한스트립법을 이용한 해석 방법이다⁵⁻⁷⁾. 그러나 이 방법은 해석 결과에 대한 정확성을 기하기 위해 많은 요소로 분할하여야 하며, 이로 인해 많은 해석시간이 요구된다. 또한 구조물의 모델이 변경될 때마다 프로그램을 다시 수정하여야 하는 등 많은 복잡한 요인이 있다.

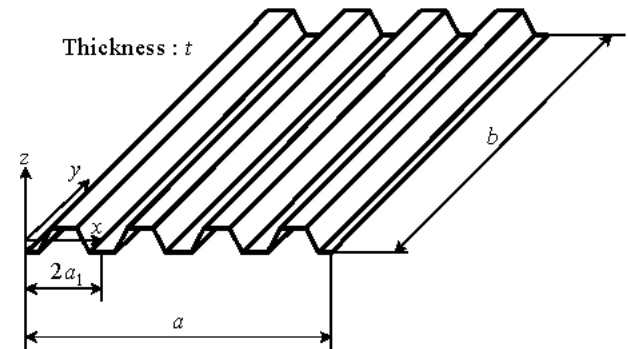
이들 주름판은 단순히 주름판 자체로 실제구조물에 이용되기도 하나 샌드위치 구조물^{8, 9)}을 설계할 때 코어요소로도 널리 이용되고 있는 실정이다. 일반적으로 샌드위치 구조물을 해석할 때 직교 이방성 판으로 간주하여 해석을 수행하고 있다. 이들 구조물의 역학적 특성을 해석하기에 앞서 코어 요소에 대한 역학적 특성을 미리 손쉽게 구할 수 있다면 샌드위치 구조물을 번거로움 없이 쉽게 해석할 수 있다. 또한 주름판은 열 교환기 등에 널리 이용되고 있는 구조요소로서 이들의 형상에 대한 열역학적 관점에서 많은 연구자가 해석을 수행하였으나 이들의 연구에서는 구조물의 강성에는 관심을 두지 않았다^{10, 11)}.

퍼스널컴퓨터 분야의 급속한 발전 및 보급으로 CAD/CAM 시스템을 도입하려는 노력이 급속히 확산되고 있는 실정므로, 주름판을 설계할 때 퍼스널컴퓨터를 이용하여 보다 편리하게 데이터를 마련할 수 있는 해석 및 설계 시스템 구축의 필요성이 요구된다.

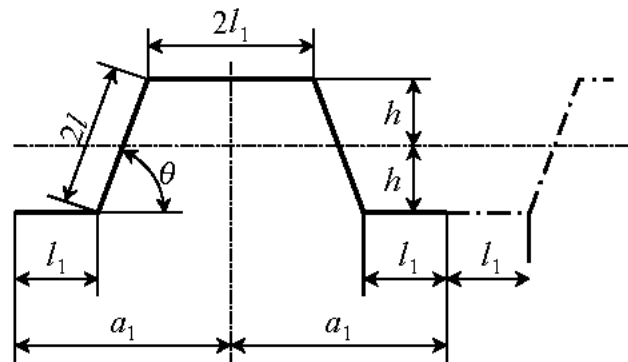
따라서, 본 연구에서는 주름판에 대해 확산이론을 도입하여 이론적으로 유도된 강성계수식을 이용하여 주름판에 대한 강성 및 진동해석을 하기 위한 시스템을 개발하는데 목적이 있다. Visual Basic 언어를 이용하여 임의의 경계조건 및 형상의 주름판에 대한 진동해석을 신속하고 편리하게 할 수 있는 Window 기반 프로그램을 구축하고, 또한 지능형 소프트웨어인 Intent¹²⁾을 이용하여 진동해석을 할 때와 동일 입력 데이터로서 운용되는 주름판의 AutoCAD 시스템을 구축하고자 한다. 또한 이론해의 타당성을 검증하기 위해 상용 유한요소 프로그램인 ANSYS¹³⁾를 이용한 해석결과와 이론해가 비교·검토되었다.

2. 수 식 화

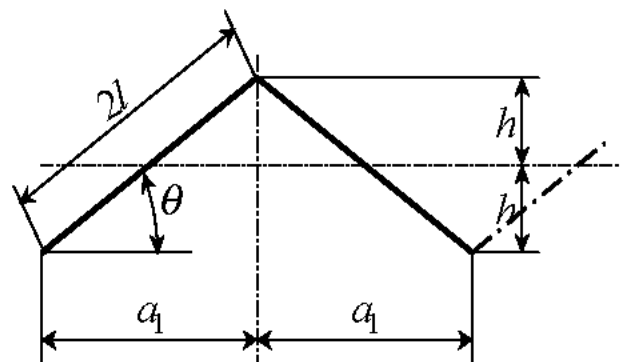
본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 바와 같은 사다리꼴형과 산형 주름판을 고려하였다. 좌표계의 원점은 주름판의 대칭면에 위치하며, 주름의 진행 방향을 x 축, 진행 방향과 수직인 방향을 y 축, 이 굽힘평면에 수직인 방향을 z 축으로 하였다. 여기서, a 와 b 는 각각 주름판의 x , y 방향의 길이이다.



(a) Geometry and coordinate system



(b) An element of trapezoidal type corrugated plate



(c) An element of triangular type corrugated plate

Fig. 1 Considered corrugated plate

Fig. 1(b)는 사다리꼴형 주름판의 단위 주름요소를 나타낸 것으로서 중앙면에 대해 l 은 주름판의 경사 길이, l_1 은 수평길이, h 는 중앙면에 대한 주름판의 높이, θ 는 주름각, t 는 주름판의 두께, n_c 은 주름수이다. Fig. 1(c)는 산형 주름판의 단위 주름요소를 나타낸 것이다. 각 그림에서 a_1 은 단위 주름요소길이의 반을 나타낸다.

본 연구에서 고려한 산형 및 사다리꼴형 주름판에 대한 각 방향에 대한 강성계수는 사다리꼴형 주름판에 대한 강성계수를 구함으로써 산형 주름판까지 확대하여 이용할 수 있다. 먼저 사다리꼴형 주름판의 단위 주름요소에 대하여 기하학적 관계와 동가의 개념을 적용하고 모멘트와 곡률과의 관계를 이용하여 유도한다²⁾. 먼저 x 방향 굽힘 강성계수는 순수 굽힘모멘트가 작용하는 경우의 기하학적 적합조건에 의해 다음과 같이 된다.

$$D_x = \frac{Et^3(m_c + \cos \theta)}{12(1 - \nu^2)(1 + m_c)} \quad (1)$$

여기서, m_c 은 주름판의 수평길이 대 경사길이 비 (l_1/l)이고, E 는 탄성계수, ν 는 프와송비이다.

y 축에 굽힘모멘트가 작용하는 경우, y 방향 굽힘 강성계수는 좌표변환에 의하여 다음과 같다.

$$D_y = \frac{Et\{t^2(m_c + \cos^2 \theta) + 4h^2(1 + 3m_c)\}}{12(1 - \nu^2)(m_c + \cos \theta)} \quad (2)$$

주름판의 비틀림 모멘트는 일반 평판과는 달리 $M_{xy} \neq M_{yx}$ 이므로 이들을 각각 고려해야 한다. 먼저 y 방향 단면에 대한 비틀림 강성계수는 경사면에 대한 동가의 전단탄성계수를 고려하여 풀어 쓰면 다음과 같이 된다.

$$D_{yx} = \frac{Et^3(m_c + 1)}{24(1 + \nu)(m_c + \cos \theta)} \quad (3)$$

또한 x 방향 단면에 대한 비틀림 강성계수는 경사면 곡률의 중앙면 동가를 고려하면 다음과 같다.

$$D_{xy} = \frac{Et^3(m_c + \cos \theta)}{24(1 + \nu)(m_c + \cos^3 \theta)} \quad (4)$$

이상에서 구한 각 방향에 대한 강성계수식(1~4)

는 사다리꼴 주름판에 대한 것으로 이 식에서 단위 주름요소의 수평길이 대 경사길이비(m_c)를 0로 하면 산형 주름판에 대한 강성계수식이 된다.

직교 이방성 사각판에 대한 최대 변형에너지 (V_{max})와 최대 운동에너지(T_{max})는 다음과 같이 무차원 강성계수를 이용하여 나타낼 수 있다.

$$V_{max} = \frac{D}{2} \int_0^b \int_0^a \left[\alpha \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + \beta \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + \delta \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \gamma \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dx dy \quad (5)$$

$$T_{max} = \frac{1}{2} \rho t \omega^2 \int_0^b \int_0^a w^2 dx dy \quad (6)$$

여기서, ρ 는 판의 밀도, ω 는 각진동수이다. 또한 도입된 계수 $\alpha, \beta, \delta, \gamma$ 는 평판에 대한 굽힘 강성계수 D 를 이용하여 무차원화시킨 것으로 다음과 같이 정의된다.

$$\alpha = \frac{D_x}{D}, \quad \beta = \frac{D_y}{D}, \quad \delta = \frac{\nu(D_x + D_y)}{D} \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{2(D_{xy} + D_{yx})}{D}$$

여기서 평판에 대한 굽힘 강성계수 D 는 다음과 같다.

$$D = \frac{Et^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (8)$$

한편, 주름판의 수직방향 처짐을 나타내는 함수 w 는 다음과 같이 가정할 수 있다.

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N A_{mn} X_m(x) Y_n(y) \quad (9)$$

여기서, $X_m(x), Y_n(y)$ 은 경계조건을 만족하는 변위함수로서 범함수를 이용하였으며, A_{mn} 은 각 모드에서의 진폭을 나타낸다.

최소 전체에너지 원리(minimum total energy principle)에 의하여 다음의 관계식이 성립한다.

$$\frac{\partial V}{\partial A_{kl}} - \frac{\partial T}{\partial A_{kl}} = 0, \quad (10)$$

$$(k=1, 2, \dots, M; l=1, 2, \dots, N)$$

가정된 변위식(9)을 각각의 에너지식(5, 6)에 적용하고, 그 결과를 식(10)에 적용하면 다음과 같은 행렬형태의 진동수방정식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [C_{mn}^{kl} - \lambda^2 \delta_{mn}^{kl}] A_{mn} = 0 \quad (11)$$

여기서 행렬 $[C_{mn}^{kl}]$ 의 크기는 급수항 M, N 에 따라 결정되며 그 크기는 $(M \times N) \times (M \times N)$ 이다. λ 는 무차원 진동수매개변수로 다음과 같이 정의된다.

$$\lambda = \omega a^2 \sqrt{\frac{\rho t}{D}} \quad (12)$$

또한 δ_{mn}^{kl} 는 Direc delta 함수로 다음과 같다.

$$\delta_{mn}^{kl} = \begin{cases} 1 & (m=k \text{ and } n=l) \\ 0 & (m \neq k \text{ or } n \neq l) \end{cases} \quad (13)$$

식(10)은 잘 알려진 고유치 문제로 이 식을 수치적으로 풀음으로써 구하고자 하는 고유진동수와 이에 대한 진동형태를 얻을 수 있다.

3. 해의 검증

본 연구에서 고려한 주름판에 대한 이론해의 타당성을 검증하기 위해 범용 유한요소 프로그램인 ANSYS13)가 이용되었다. 유한요소해석에서 사용된 요소는 ANSYS에서 제공하는 쉘 요소인 SHELL63이며, 이 요소는 4 절점, 6 자유도를 갖는다. 진동해석을 위한 고유치 문제는 ANSYS에서 제공하는 해법 중에서 비교적 해석 시간이 적게 드는 축소 부공간 해석법(reduced subspace analysis)을 이용하여 해석을 수행하였다.

Table 1은 연강으로 만들어진 사다리꼴형 주름판에 대한 이론해와 유한요소해석결과에 대한 비교로 9차까지의 진동수매개변수(λ)를 나타낸 것이다. 이 때 주름각은 30° , 주름판의 형상비(a/b)는 1, 판의 x 방향 길이 대 두께 비(a/t)는 100이며, 주름판의 수평 길이 대 경사 길이의 비(m_c)가 2, 주름수(n_c)가 5인 것을 고려하였다. 경계조건은 y 방향으로 한 단이 고정되고 다른 단 및 x 방향의 모든 단이 자유인 외팔형이다. 표에 제시한 유한

요소결과는 요소분할에 따른 수렴성을 충분히 검토한 후 제시된 결과이며, 두 결과간의 차이는 다음 식을 통해 계산된 값이다.

$$\text{Disp. (\%)} = \frac{\lambda_{th} - \lambda_{FEM}}{\lambda_{FEM}} \times 100 \quad (14)$$

여기서 λ_{th} , λ_{FEM} 는 이론해 및 유한요소해이다.

Table 1 Frequency parameter comparison with FEM for the trapezoidal type corrugated plate with cantilevered boundary condition (a/b 1, a/t 100, m_c 2, n_c 5, θ 30°)

Mode Sequence	Theory, λ_{th}	FEM, λ_{FEM}	Disp.(%)
1st	10.08	9.871	2.08
2nd	13.36	12.98	2.96
3rd	28.59	27.80	2.85
4th	60.01	58.68	2.27
5th	63.12	62.45	1.07
6th	72.66	70.77	2.68
7th	84.84	82.52	2.82
8th	120.0	117.1	2.46
9th	121.7	120.7	0.82

표에 나타난 것처럼 전반적으로 이론해가 유한요소해보다 큰 값을 보이고 있으나 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 이론해가 유한요소해보다 큰 진동수를 갖는 이유는 잘 알려진 것처럼 일반적으로 이론해가 실험이나 유한요소해에 비해 상한치(upper bound)를 갖기 때문이다.

4. 진동해석 및 설계시스템의 구축

본 연구에서는 주름판의 형상변화에 따라 설계변경이 요구될 때, 언제든지 이에 대응할 수 있는 주름판을 자동설계하고, 이 때의 각 주름판에 대한 진동해석 결과를 가시화할 수 있는 신속하고 손쉬운 진동해석 및 자동설계 시스템을 구축하였다.

이러한 시스템은 AutoCAD R13c4와, 이에 연결되어 AutoCAD 시스템을 전문가 설계 시스템화해주는 툴(tool)인 Intent 2.40¹²⁾을 사용하여 자동설계할 수 있도록 하였으며, 이들 소프트웨어는 기존의 AutoCAD의 기능을 확장하여 객체 지향적인 설계가 가능한 전문가 시스템을 활용하기 위하여 사용되었다. 특히 AutoCAD는 타 시스템에 비해 널리 보급되어 있고 고급 사용자가 많아서 교육

및 적용이 용이하며, 타 CAD나 DBMS와의 호환성이 우수한 특징이 있기 때문에 시스템 구축에 이용하였다.

본 연구에서 구축한 시스템은 입력과정, 연산과정, 출력과정으로 나눌 수 있으며, Visual Basic을 이용하여 Window 환경에서 구동될 수 있도록 하였다.

4.1 입력과정

화면상에서 대화식으로 복잡한 그래픽 객체들을 생성 및 조작해야 하는 CAD 및 3차원 그래픽 소프트웨어와 같은 응용프로그램들은 초보자나 중급자에게는 사용의 편리함과 배우기 쉽다는 장점을, 전문가에게는 생산성을 높이고 고급 기술의 적용이 용이하게 한다는 장점을 줄 수 있기 때문에 일찍부터 GUI를 이용한 응용프로그램들이 사용되어 왔다. 따라서, 본 연구에서의 전처리기는 주름판의 설계 및 진동해석에 필요한 정보를 대화식 형태의 GUI환경을 통하여 입력할 수 있도록 하였다.

입력과정은 시작창(Main Window)의 풀다운 메뉴에서 **데이터 입력 및 해석**을 선택하면, 해석하고자 하는 주름판의 입력자료를 선택할 수 있는 입력창이 Fig. 2와 같이 나타난다. 입력할 수 있는 경계조건은 x 방향 및 y 방향에 대해 개별적으로 선택할 수 있으며, 이 때 얻을 수 있는 경계조건은 x 방향 및 y 방향의 경계조건의 조합으로 총 36가지의 경계조건을 갖게 된다. 수렴에 필요한 차원, 즉 x , y 방향의 변위함수에서의 급수항 M , N 을 입력할 수 있다. 또한 주름판의 형상을 입력할 수 있는 부분에서는 주름판의 길이, 두께, 수평 및 경사길이 비, 주름각도를 입력한다. 그리고 탄성계수, 프와송 비, 비중 등과 같은 재료특성을 입력할 수 있게 되어 있다. 이때의 데이터 값은 목록에서 선택할 수 있으며, 필요한 경우 사용자가 직접 수치를 입력할 수 있도록 하였다.

이 창에서 풀다운 메뉴의 **파일**은 기존에 생성된 파일을 불러오거나 저장할 수 있으며, **편집**은 파일의 수정 등을 할 수 있다. 또한 **해석결과 보기**는 출력과정에 해당되는 것으로 연산과정을 거친 후 진동해석 및 CAD변환결과를 볼 수 있도록 한 것이다.

Fig. 2의 예는 x 방향에 대한 경계조건은 모두 자유이고, y 방향에 대해서는 고정 자유 경계조건을 갖는 사다리꼴 주름판에 대한 입력자료이다. 이 때 단위 주름요소길이의 반을 나타내는 a_1 은 10mm, 판의 형상비는 1, 수평 및 경사길이 비가 1, 주름

각이 45° 인 5개의 주름을 갖는다. 또한 고려된 재료는 연강이다.

앞으로 4장에서 제시될 모든 결과는 위에서 언급한 입력자료를 바탕으로 한 것이다.

4.2 연산과정

본 시스템에서의 연산과정은 Fig. 2와 같은 데이터 입력 창에서 각각의 데이터의 값을 모두 입력한 후 **해석** 단추를 누름으로써 이루어진다. 이렇게 함으로써, 앞에서의 이론식을 바탕으로 프로그램 되어진 해석프로그램을 실행하여 주름판에 대한

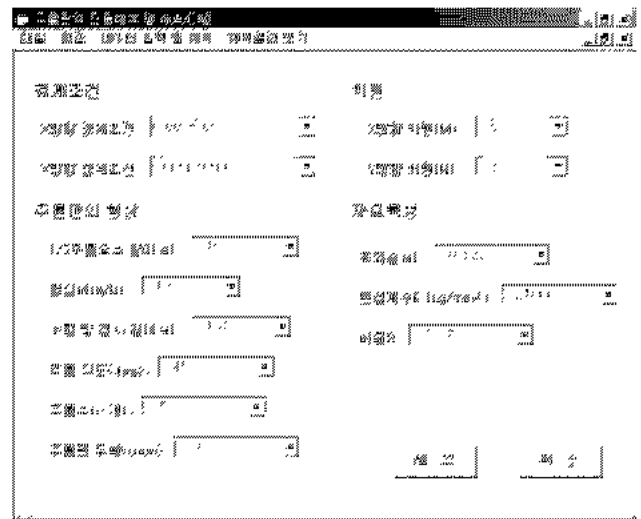


Fig. 2 Window for data input

강성계수 및 진동수를 구할 수 있고, 이때의 해석 값을 결과창 및 그래프로 나타낼 수 있도록 모듈 상의 전역변수에 필요한 해석 결과 값을 기억시킨다. 또한, 데이터 입력 창에서의 주름판의 형상 변화에 따른 객체의 변화된 정보를 AutoCAD 시스템을 전문가 설계 시스템화 해주는 Intent 툴 (Tool)에 자동으로 전달하여 AutoCAD 응용 프로그램에 그려진 객체의 형상을 변경하도록 하였다.

4.3 출력과정

이상과 같이 입력과정과 연산과정을 통하여 완성된 설계 결과는 즉시 사용 가능한 문서 파일 및 CAD도면으로 출력할 수 있고, 진동수 및 강성계수에 대한 해석 결과를 그래프로 출력할 수 있도록 하였다.

출력과정은 시작창에서 해석결과 보기의 풀다운 메뉴 아래에는 **진동해석 결과**와 **AutoCAD 결과**라는 메뉴가 있으며 각 메뉴에 대한 구성은 다음과 같다.

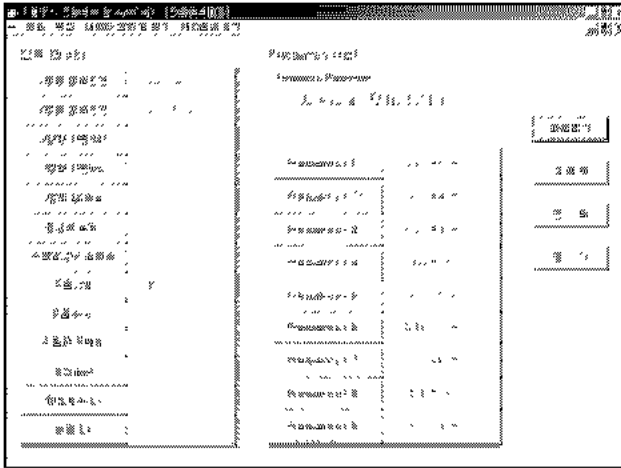


Fig. 3 Window for vibration result

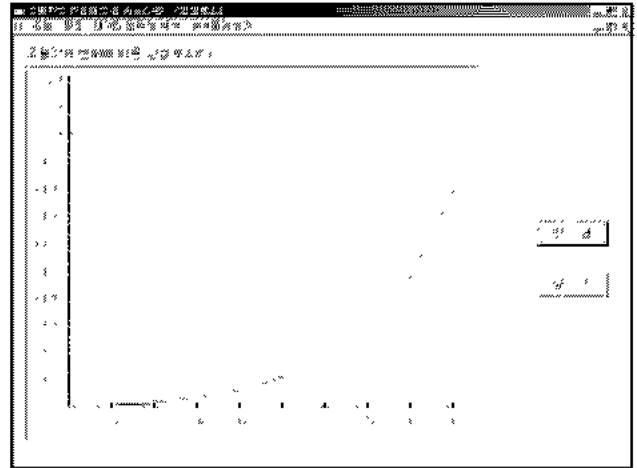


Fig. 6 Window for bending rigidity

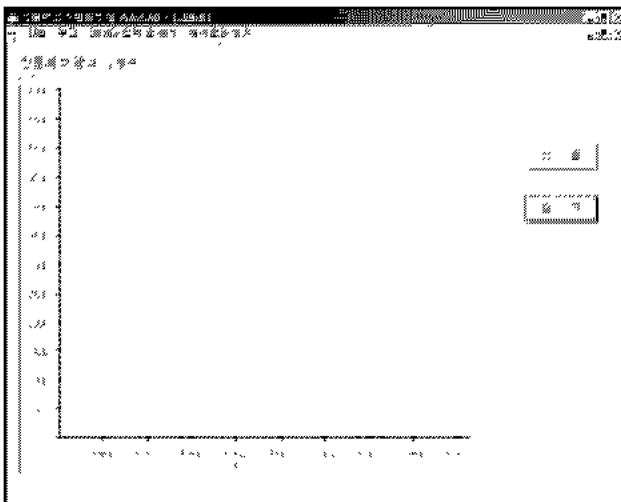


Fig. 4 Window for frequency graph

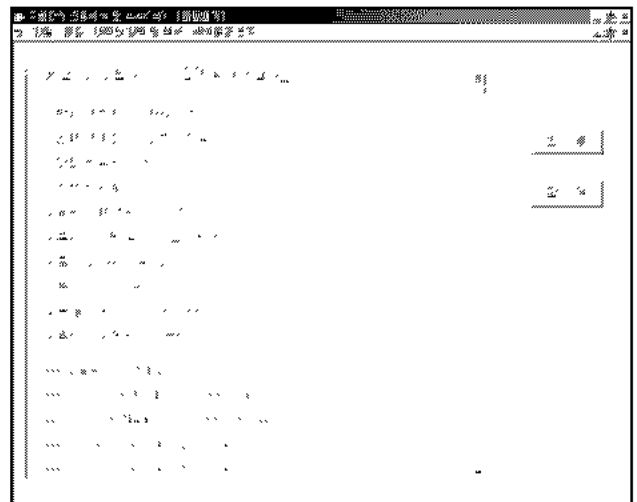


Fig. 7 Window for result file of vibration and rigidity analysis

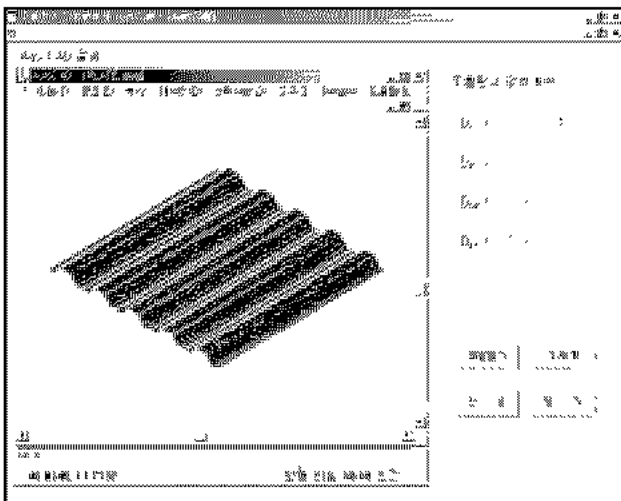


Fig. 5 Window of AutoCAD result for trapezoidal corrugated plate

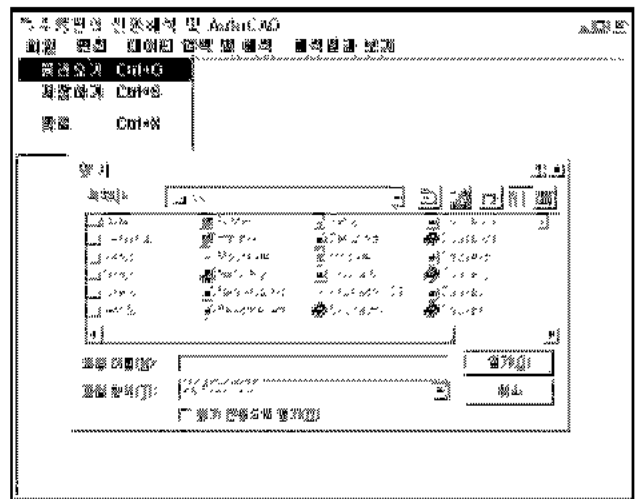


Fig. 8 Common dialog box for file open

1) **진동해석 결과**를 선택하면 화면상에 입력 데이터 값과 진동수의 결과를 표와 그래프로 볼 수 있으며 표로 나타낸 값이 Fig. 3이다. 이 그림에서는 해석결과와 함께 입력자료가 동시에 출력되어 있어 입력자료에 따른 결과를 한 눈에 볼 수 있게 하였다. 이 창에서 **그래픽** 단추를 누르면 Fig. 4와 같이 진동수의 해석 결과를 그래프로 나타나도록 하였다. 이 그림으로부터 진동차수에 따른 진동수의 변화를 쉽게 판단할 수 있도록 하였다. **파일열기** 단추에 대한 기능은 나중에 설명된다.

2) **AutoCAD 결과**를 선택하면 Intent 툴을 이용하여 AutoCAD에서 자동으로 변환되어진 주름판을 윈도우 애플리케이션 사이에서 개체를 연결하고 포함할 수 있는 OLE(Object Linking and Embedding) 컨트롤을 사용하여 출력할 수 있도록 하였고, 이때의 주름판에 대하여 연산과정에서 모듈상의 전역변수에 기억시켜 놓은 강성계수 해석 결과를 출력할 수 있도록 Fig. 5와 같이 구성하였다. Fig. 5의 AutoCAD 결과 보기 창에서 **그래픽** 단추를 누르면, 주름각의 변화에 따라 가장 큰 강성계수의 변화를 나타내는 굵힘 강성계수 값을 Fig. 6과 같이 주름각의 변화에 따른 강성계수의 그래프가 출력될 수 있도록 하였다.

또한 이상과 같은 해석결과를 그래프나 표 및 도면으로 출력하기 보다 문서로서의 출력이 편리하거나 필요한 경우, 본 시스템은 각 특성값을 하나의 문서로 요약하여 파일로 출력할 수 있다. Fig. 7은 이러한 파일을 출력할 수 있도록 만들어진 결과 창으로, 진동해석 결과 창이나 AutoCAD 결과 창에서 모두 **파일열기** 단추를 선택하여 화면상에 출력할 수 있도록 구성하였다.

4.4 기 타

본 시스템은 시스템의 전 과정에서 데이터 값이나 결과를 대부분의 윈도우 체계에서 보편적으로 사용되는 공통대화상자(Common Dialog Box)를 사용하였기 때문에 저장, 불러오기, 편집 및 인쇄 등의 작업을 윈도우 체계에서 사용하던 다른 응용 프로그램들과 동일한 과정으로 작업이 가능하다.

Fig. 8은 시작 창(Main Window)의 풀다운 메뉴에서 **파일**을 누르고 **불러오기**를 선택하였을 때 나타나는 공통대화상자이다.

5. 시스템의 활용

본 연구에서 개발된 시스템은 주름판의 형상이

나 경계조건 등의 변화에 따른 주름판의 기본적인 설계 작업 및 세부 사항의 설계 변경이나 기타 설계 외적 정보의 변경을 일괄적으로 관리할 수 있는 시스템으로써, 누구나 손쉽게 신속하게 주름판의 진동해석 및 자동 설계를 할 수 있는 시스템이다. 이 시스템을 이용하여 주름판의 경우에 대한 예를 들어 보기로 하자.

본 연구에서의 진동해석 모델은 주름판의 주름을 길게 뻗을 때의 길이 a_t 와 주름 상태의 길이 a 의 비 $k(=a_t/a)$ 를 이용하면 보다 쉽게 해석에 이용될 수 있다.

Fig. 1(b) 과 같이 하나의 주름 구성요소에서 k 와 m_c 의 관계는

$$\begin{aligned} a' &= 4k(\cos \theta + m_c) \\ a_t &= 4k(1 + m_c) \end{aligned} \quad (15)$$

여기서 a' 은 주름상태에서 단위길이이고, a_t 은 주름을 뻗을 때의 단위길이이다. 따라서

$$\begin{aligned} a &= a' n_c \\ a_t &= a' m_c \end{aligned} \quad (16)$$

이므로

$$k = \frac{1 + m_c}{\cos \theta + m_c} \quad (17)$$

가 된다.

한 예로 k 1.3이고, 주름수가 5인 산형 주름판에 대한 해석을 수행해 보기로 하자. 산형 주름판인 경우 수평 및 경사 길이 비 m_c 0이 되므로 식 (17)에서 주름 각도는 39.7° 가 된다. 이 때의 입력창은 Fig. 9와 같으며, 기타 다른 모든 조건은 앞의 경우와 동일하다. 입력창에서 **해석** 단추를 누르게 되면 연산을 수행하게 되고 몇 가지 해석결과를 Fig. 10, 11에서 볼 수 있다. 진동수의 변화를 나타내는 Fig. 10에서 진동수가 5차에서 6차로 변환될 때 급하게 변하는 것은 주름수가 5이기 때문에 이 때까지 주름에 따라 진동형상의 절선(nodal line)이 형성되어 x방향의 반파수는 5이고 y방향 반파수는 1을 유지하다가 6차에서 y 방향 반파수가 2로 변하게 되어 진동수가 급증하는 것이다.

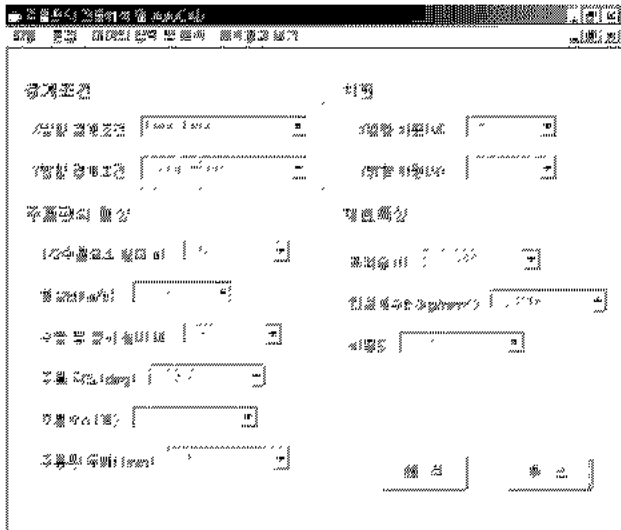


Fig. 9 Input window for triangular corrugated plate

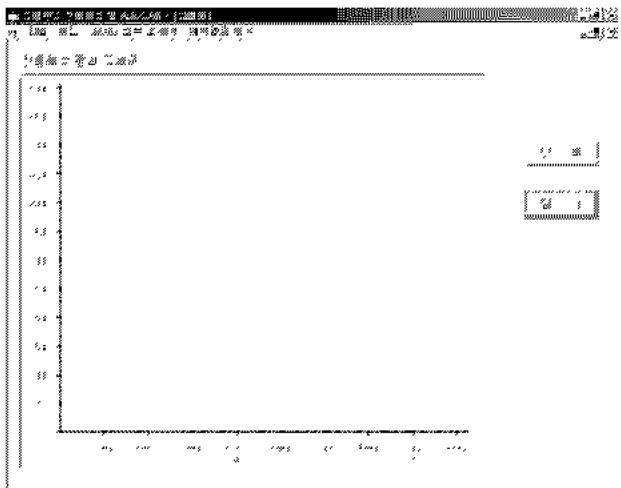


Fig. 10 Vibration results for triangular corrugated plate

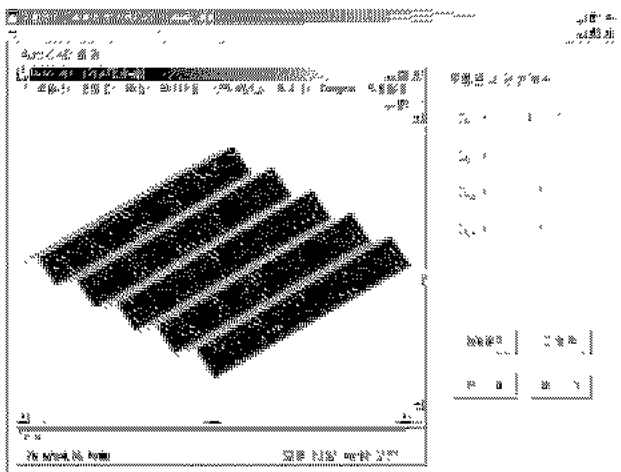


Fig. 11 AutoCAD result for triangular corrugated plate

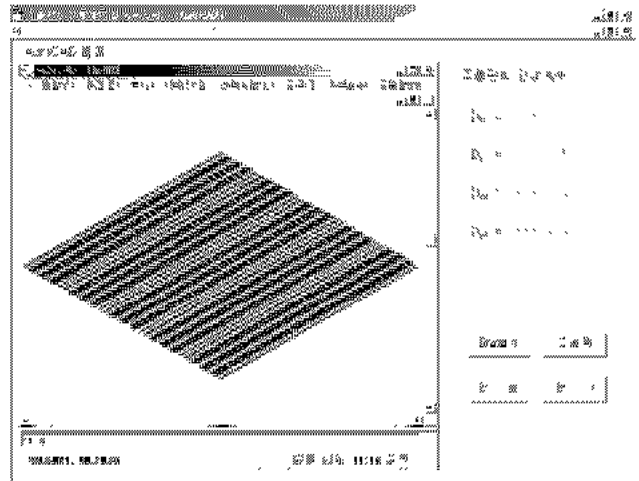


Fig. 12 AutoCAD result for flat plate

Fig. 11는 입력된 자료를 통해 얻은 CAD결과를 제시한 것이다.

한편 본 시스템은 주름각도를 0°으로, 주름수를 0로 하면 평판에 대해서도 적용이 가능하다. 이 때의 CAD결과를 Fig. 12에 제시하였다.

6. 결 론

본 연구에서는 36가지의 경계조건을 구현할 수 있는 산형 및 사다리꼴형 주름판에 대한 강성계수와 진동 해석을 신속하고 편리하게 수행하고 주름판을 자동 설계할 수 있는 시스템이 개발되었다. 이 시스템은 입력, 연산, 출력과정으로 구성되며, Visual Basic을 이용하여 Window 환경에서 구동될 수 있도록 하였다. 또한 출력과정에서는 AutoCAD와 이를 객체 지향 전문가 시스템화해주는 지능형 Intent 툴(tool)을 사용하여 객체간의 상호 연관 관계를 구축함으로써 주름판을 자동설계 할 수 있다.

이 시스템은 주름판에 대하여 보다 간단하고 손쉽게 설계가 가능하고 그에 따른 제반 정보의 효율적인 관리를 도모하며 그 결과를 여러 가지 형태로 출력하여 산업현장에서 활용할 수 있을 것이며, 설계에 따른 제반 정보들을 열람 및 수정하면서 설계 작업이 가능하고 설계의 변경에 따른 여러 가지 객체의 변화를 빠르고 적절하게 수용할 수 있다.

후 기

본 연구는 여수대학교 1999년도 학술연구지원비에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1. D. Perel, "The General Instability of Infinitely Long Trapezoidally Corrugated Plates Under Shear", Requirement Thesis for the Degree of Ph. D. Syracuse Univ., 1976
2. 정 강, "주름판의 강성과 진동해석에 관한 연구", 박사학위 논문, pp. 8~11, 51~55, 홍익대학교 박사학위논문, 1989
3. P. Bar Yoseph and I. Hersckovitz, "Analysis of Folded Plate Structures", Thin Walled Structures, Vol. 7, No.2, pp.139~158, 1989
4. R. A. Shimansky and M. M. Lele, "Transverse Stiffness of a Sinusoidally Corrugated Plate", Mechanics of Structures and Machines, Vol. 23, No.2, pp.439~451, 1995
5. B. W. Golley and A. William, "Prismatic Folded Plate Analysis Using Finite Strip Elements", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 76, No. 2, pp.101~118, 1989
6. W. H. Liu and C. C. Huang, "Vibration Analysis of Folded Plates", Journal of Sound and Vibration, Vol. 157, No.2, pp. 123~137, 1992
7. S. W. Yuen and G. M. Van Erp, "Transient Analysis of Thin Walled Structures Using Macro Spline Finite Elements", Engineering Structures, Vol. 21, No. 3, pp. 255~266, 1999
8. T. S. Lok, Q. H. Cheng, "Free Vibration of Clamped Orthotropic Sandwich Panel", Journal of Sound and Vibration, Vol. 229, No. 2, pp. 311~327, 2000
9. T. S. Lok, Q. H. Cheng, "Bending And Forced Vibration Response of a Clamped Orthotropic Thick Plate and Sandwich Panel", Journal of Sound and Vibration, Vol. 245, No. 1, pp. 63~78, 2001
10. Y. Li, M. A. Hessami and E. J. Hu, "Experimental Investigation of Heat Transfer and Pressure Drop in Cross Corrugated Plate Heat Exchangers", Proceedings of ICEE 1998, pp. 288~293, 1998
11. S. Grandgeorge, C. Jallut and B. Thonon, "Particulate Fouling of Corrugated Plate Heat Exchangers. Global Kinetic and Equilibrium Studies", Chemical Engineering Science, Vol. 53, No. 17, pp. 3051~3071, 1998
12. Heide Cooperation, "Intent R 2.40 Training/User's Manual", Medfield, 1997
13. SASI, "ANSYS User's Manual," Swanson Analysis System, Houston, 1997