Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 15, No. 6 pp. 3448-3454, 2014

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.6.3448
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

금형두께에 대한 1차 구조해석 결과를 기반으로 한 2차 최적화 해석에 관한 연구

이종배[1], 김상현[1], 우창기[1*]
[1]인천대학교 기계공학부

A Study on the Secondary Optimization Analysis based on the Result of Primary Structure Analysis for the Die Thickness

Jong-Bae Lee[1], Sang-Hyun Kim[1], Chang-Ki Woo[1*]
[1]**School of Mechanical System Engineering, Incheon National University**

요 약 기존의 구조해석은 탄성해석을 일반적으로 실무에서 주축으로 해왔다. 때문에 보다 정밀한 해석을 위하여 재료와 기하학적인 비선형을 고려한 해석의 필요성이 끊임없이 대두되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 간단한 모델을 제작하여 비선형 원리를 적용한 최적화를 수행하여 기존의 구조해석의 경험자들은 누구나 용이하게 해석을 수행할 수 있는 이론과 방법을 제시하는데 있다. 본 연구에서 소개되는 모델은 금형 다이리브에 적용될 수 있도록 전단하중에 대하여 충분한 강도로 Strain, Stress가 적게 발생하게 하여, 초기에는 Strain, Stress가 크기에 맞게 형상을 재구성하고 Hyperstudy와 Abaqus 연동에 의한 비선형으로 해석하고 제품에서 허용되는 최대, 최소 Stress 범위와 최소 Strain을 갖는 조건하에서 일정한 증가치를 만들게 하였다. 실험 모델에서 Plate 두께가 40 Newton의 힘으로 주어질 때 Iteration 처리로 금형 두께에 따른 Stress와 Strain에 대한 금형두께에 적용하고자 했을 때 7~8mm 두께가 최적화라는 결론을 얻을 수 있었다.

Abstract Generally existing structure analysis was applied to elastic analysis basically in practice. Considering the nonlinear material and the nonlinear geometric to be a more precise analysis, for this reason, The necessity for a structual analysis have been constantly required. Therefore, after optimization is performed, designed a simple model which is applied the principle of nonlinear in this study, a structural analysis of existing experienced users, have a aims at presenting theory and a method in order to perform anyone the analysis easily. In this study, the proposed model applied to die ribs, Regarding the shear load, less strain and stress was generated but strength was sufficient. The initial strain and stress was reconfigured to fit the size and shape, A hyperstudy in conjunction with Abaqus with nonlinear structural analysis, revealed an acceptable maximum and minimum range of stress and under the conditions of minimum strain, the plate made with a constant increment. In the experimental models, the plate thickness was given a power of 40 Newton, according to the thickness of the press die through an iterative process. When the stress and strain was applied to the die thickness, 7-8mm thickness could be obtained by optimizing.

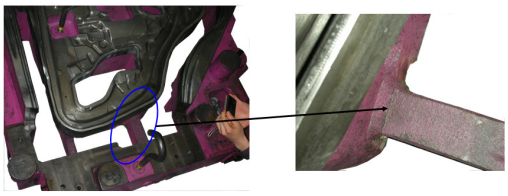
Key Words Iterative, Nonlinear, Optimized, Shearing load, Strain, Strength, Stress

1. 서론

지금까지의 설계 및 일부 해석은 주로 설계자와 해석자의 직감 경험 및 숙련도에 의존한 시행착오적인 설계와 해석이 이루어져 왔는데 이러한 설계 및 해석 시스템은 복잡한 구조물인 경우 사용성 경제성 및 역학적 안정

*Corresponding Author : Chang-Ki Woo(Incheon National Univ.)
Tel: +82-10-3785-7997 email: wooerwck@naver.com
Received February 26, 2014 Revised (1st March 7, 2014, 2nd March 19, 2014) Accepted June 12, 2014

성에 문제가 제기되었다. 따라서 구조해석을 통한 최적화 해석 그리고 비선형을 고려한 해석이 대두되었고, 이러한 비선형해석은 이론에서부터 복잡성과 활용의 어려움 때문에 실무에 접근성에는 많은 제약이 있어왔다. 따라서 비선형적으로 해석이 요구되는 제품을 성형하거나 전단, 굽힘 등의 가공을 행하는 경우 금형은 강도에 대하여 충분한 내구력을 갖는 적정 크기의 금형 두께 및 면적이 필요한 해석이 요구된다. Fig. 1과 같이 적정의 강도를 유지하지 못하는 경우 응력의 집중에 의하여 작업 중 금형의 파손을 초래한다. 본 연구에서는 전단 및 굽힘 압력에 대하여 충분한 강도를 유지할 수 있는 금형의 크기를 알기 위해 비선형 해석툴인 Abaqus와 최적화 해석툴인 Hyperstudy와 연동시켜 최적화하고 각각의 두께에 대하여 Stress 및 Strain을 추출하여 데이터베이스화 하고, 그 자료를 활용하여 금형설계 및 최적화 해석에 적용하고자 한다.



[Fig. 1] The cracks of die ribs

2. 이론적 배경

2.1 탄성 응답

선형 탄성의 경우 스트레스는 후크의 법칙에 의해 주어진다.

$$\dot{\sigma}_i = \lambda\left(\frac{\dot{V}}{V}\right) + 2G\dot{\varepsilon}_i \quad i = 1, 2, 3 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots \ ①$$

또한 축방향응력 구성 요소는 식 ①에 의해 주어지며, L과 G는 라메 상수이고 주요 응력과 수압으로 분해 될 수 있다[1].

$$\sigma_i = -P + s_i \qquad P = -\frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \qquad \cdots\cdots\cdots \ ②$$

$$P = K\left(\frac{\rho}{\rho_o} - 1\right) \qquad ds_i = 2G\left(d\varepsilon_i - \frac{dV}{3V}\right) \qquad \cdots\cdots\cdots \ ③$$

P : 압력 스트레스

s_i : 축방향 응력

2.2 비선형 응답

많은 응용 프로그램이 상당히 탄성 한계 이상으로 응력을 포함하는 등 더 복잡한 재료 모델을 필요로 한다[2].

$$m\ddot{x} + \dot{c}\dot{x} + kx = F(t) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \ ④$$

Explicit과도 동적 해석에 의해 해결 운동의 기본 방정식은 m은 질량 행렬이고, C는 감쇠 행렬, K는 강성 행렬이고 F (t)는 하중 벡터이다. 어떤 주어진 시간(t) 방정식은 관성력과 제동력을 고려 "정적" 평형 방정식의 집합으로 생각할 수 있다. 연속적인 시점 사이의 시간 증가는 적분 시간 스텝이다.

비선형동적 분석에 의해 해결되는 기본 방정식 라그랑주 좌표 질량, 운동량 및 에너지 보존을 표현할 수 있다. 이들은 함께 재료 모델과 초기 및 경계 조건의 집합으로, 문제의 완벽한 솔루션을 정의한다. 라그랑주공법의 경우, 메쉬 이동하고 재질이 모델을 왜곡 때문에 질량 보존이 자동으로 만족하고 언제든지 밀도 영역과 초기 질량의 현재 볼륨에서 확인할 수 있다[3]. 운동량의 보존을 표현하는 부분미분 방정식은 응력 텐서 σ_{ij}에 가속도는 식⑤, ⑥과 같이 에너지 절약을 통해 표현된다.

$$\rho\ddot{x} = b_x + \frac{\partial\sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial\sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial\sigma_{xz}}{\partial z}$$

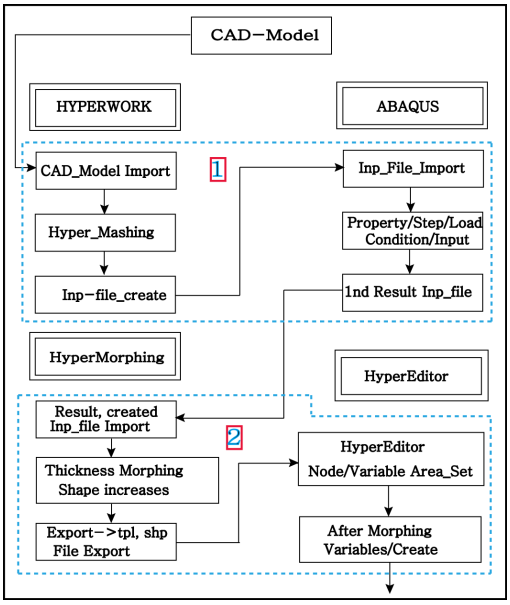
$$\rho\ddot{y} = b_y + \frac{\partial\sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial\sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial\sigma_{yz}}{\partial z} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots \ ⑤$$

$$\rho\ddot{z} = b_z + \frac{\partial\sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial\sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial\sigma_{zz}}{\partial z}$$

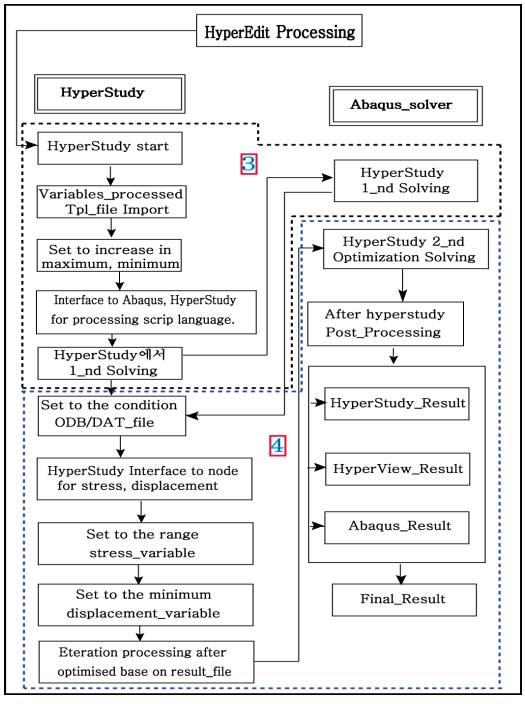
$$\dot{e} = \frac{1}{\rho}(\sigma_{xx}\dot{\varepsilon}_{xx} + \sigma_{yy}\dot{\varepsilon}_{yy} + \sigma_{zz}\dot{\varepsilon}_{zz} + 2\sigma_{xy}\dot{\varepsilon}_{xy} + 2\sigma_{yz}\dot{\varepsilon}_{yz} + 2\sigma_{zx}\dot{\varepsilon}_{zx}) \qquad \cdots\cdots\cdots \ ⑥$$

2.3 데이터 전처리 및 Solving layout

유한요소 해석에 사용할 프로그램은 Abaqus이며, 전체 모델은 7개의 파트로 구성되어 있다. 각 파트 사이에는 8개의 접촉 조건이 정의되어 있어 비선형 해석을 수행해야 한다[4]. 하중조건은 Table 1과 같이 구분되어 있고, 유한요소 해석 프로그램을 사용할 경우 설계영역은 해석 전처리기에서 정의된 Element 그룹을 사용할 수 있다[5]. 정의된 Element그룹은 Hyperstudy와 해석프로그램의 인터페이스를 통하여 최적화 전처리기에서 읽어 들이고, 읽어 들인 Element 그룹은 최적화 과정을 정의할 때 바로 사용할 수 있다.



[Fig. 2] Model import layout



[Fig. 3] Pre-processing and solving layout

설계 영역내의 절점들은 목적함수를 향상시키는 방향으로 이동하며, 요소 형상의 품질과 하나의 요소해석 결과정도를 높이기 위하여 Mesh element group을 정의하여야 한다.

최적화에 따라 설계 영역의 절점들이 이동하게 되면 요소 형상의 품질이 나빠질 수 있다. 형상최적화 과정 중 Mesh element 그룹영역에 속한 절점은 설계영역은 아니지만 이동이 가능하다.

Hyperstudy에서 설계 영역에 속한 절점의 이동량은 Mesh element 영역의 절점들로 전달되고, 최적화 목적은 설계 영역 내에서 이 하중조건이 작용할 경우 최대 Von Mises stress를 최소화하는 것이다[6].

목적함수를 정의하는 첫 번째 단계는 최적화에서 평가 기준으로 사용할 응력의 형태를 포함한 Design response variable을 정의하는 것이다.

최적화 목적은 하중 조건설계 영역 내에서 최대 Von Mises stress가 최소가 되도록 하는 것이므로 Design response variable은 하중조건 설계영역 내의 절점에 작용하는 최대 Von Mises stress로 정의된다[7].

[Table 1] The requested function value

	Function type	Value
1	Step dynamic, Explicit time	0.2
2	Mass scaling	100
3	Contact friction coeff	0.1
4	Load concentrated force	-40N

History output request는 Stress, Strain, Displacement, Force, Contact로 하고Boundary condition support block은 부분 Fixed로 입력되었다.

[Table 2] Material properties

Division	Aluminum	Steel
Density	2.77E-09	7.8E-09
Young's modulus	73000	210000
Poisson's ratio	0.3	0.33

[Table 3] Aluminum material plastic zone

No	Yield stress	Plastic strain
1	60	0
2	90	0.125
3	113	0.25
4	124	0.375
5	133	0.5
6	165	1
7	166	2

3. 해석 절차

3.1모델선정 및 물성

1차 해석을 위해 CAD상에서 모델을 Import하고 Hypermash툴로 작업 처리하였다.

작업 처리한 것을 Abaqus에서 Import해서 각각의 모델의 물성치 자료를 Table 2, Table 3과 같이 입력하고, 플레이트는 알루미늄을 선정하고 펀치 및 다이 용도인 Support block은 Steel 물성치로 처리하였다.

Fig. 4와 같이 알루미늄 Plate의 양 끝을 Steel support block에 고정하고 펀치를 일정한 깊이로 이동하도록 설정하여 휨 발생이 발생되도록 하였다.

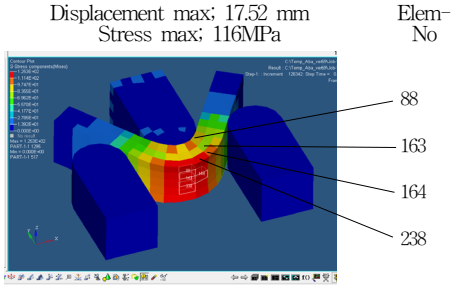
1차 해석에 의한 힘과 Stress 및 Strain 값을 입력 값으로 설정하였다.

3.2 안정시간 단계와 질량 스케일링

보편적인 리브의 휨 응력 값을 정하기 위해 가로 10mm, 두께 5mm의 재료를 선정하여 각 element 번호를 새롭게 정리하고, 정상적인 1차 해석결과 Stress 상태의 결과 값을 Fig. 5에 나타낸다.

Explicit 시간 통합에 사용할 수 있는 최대 시간 간격은 식 ⑦과 같이 재료의 음향 속도에 반비례하고 요소물질 질량의 제곱근에 따라서 방향성에 비례한다.

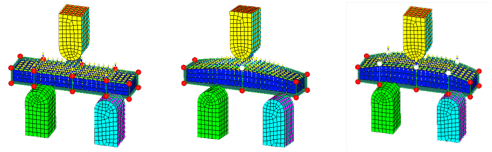
$$\Delta t_{\min} \le \frac{2}{\varpi_{\max}}\left(\sqrt{1+\zeta^2}-\zeta\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad ⑦$$



[Fig. 4] The primary analysis result extraction

4. Hyper Morphing 변수

4.1 Hyper Morphing 변수 발생 절차



[Fig. 5] Morphing_preprocessing and parameter settings

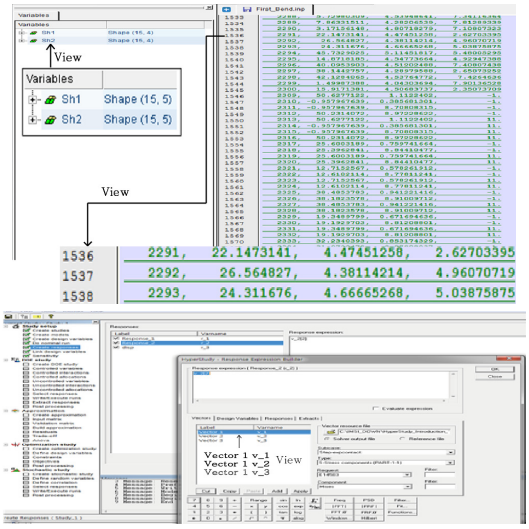
Morphing전처리와 변수설정을 Fig. 5에 나타내고, HyperEditor로 Morphing 영역과 변수를 수정했다[8]. 새 tpl파일을 저장하고 Hyperstudy로 진행하여, Abaqus 솔버를 Interface시키고 1차 해석결과 ODB 데이터에서 변수 처리된 절점을 인터페이스시켜 HyperStudy 프로그램이 연동작업과 함께 솔빙된 자료를 목적함수에 도달할 때까지 계속 루틴 처리하게 하였다[9].

Fig, 6과 같이 결과에 의한 변수 설정은 1차 연동된 파일 ODB 및 DAT 파일로부터 엘리먼트 넘버와 노드넘버 변수를 인터페이스 하였다.

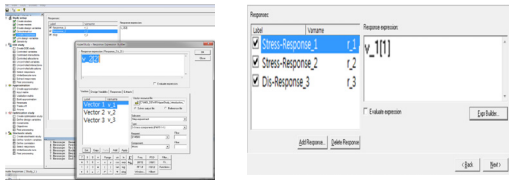
4.2 Morphing 후에 변수발생 부분처리

Hypermorph 변수될 수 있는 조건들은 질량, 스트레스, 변위, 주파수, 압력 강하. 제약 조건 기능허용이 될 수 있는 디자인 설계 변수의 함수이다. 최적 설계목적 함수를 최소화하고 동일한 시점 또는 디자인 시간은 모든 제약 조건을 만족시켜야 한다. Hypereditor로 Morphing 영역과 변수를 수정하고, 새로운 tpl 파일로 저장하고 Hyperstudy로 진행하여 변수들의 영역을 지정해 주었다. 또한 변수 최대치와 최소치를 설정해 주고,. Hyperstudy를 실행하여 Hypereditor상에서 모핑 변수 처리한 결과물인 tpl 확장자로 생성된 파일을 불러 왔다. Hyperstudy와 Abaqus를 인터페이스 하였다.

Hyperstudy 상에서 Abaqus와 인터페이스한 상태에서 기본 해석이 완료되면 ODB 파일이 생성되는데 생성된 파일에서 각각의 Element ID와 Node번호를 포함하고 있다. 필요한 위치를 지정해서 Stress량을 줄이거나 Displacement량을 줄일 수 있는 변수선언을 지정하였다. Respond_1, Respond_2, Dis라는 3개의 변수를 지정하고, Fig. 6과 Fig. 7에 나타내고, 그 값을 Table 4에 정리하였다.



[Fig. 6] Hypereditor and setting the variable



[Fig. 7] Element variables and connection process

[Table 4] The calling variables

Variable name	Variables	Variable function	Element
Response_1	v_1[1]	Stress	E1434
Response_2	v_2[2]	Stress	E1418
Response_3	v_3[3]	Displace	N2181

4.3 Hyperstudy solving을 위한 Abaqus의 Interface 설정

Abaqus 솔버를 Interface하고 1차 해석결과를 통해 ODB파일에서 데이터를 추출하였다. CAE 모델과 같은 두께, 형상 설계변수, 재료속성은 모델출력 응답을 변경할 수 있다.

DOE(Design of explement)의 연구는 이러한 입력 요소와 출력에 미치는 영향 사이의 상호 작용에 대한 정보를 제공한다.

DOE 실행이 완료되면, 제어 요소 현실에서 제어 할 수 있는 설계 변수생산 환경을 제공한다.

5. Sh1과 Sh2의 비교분석

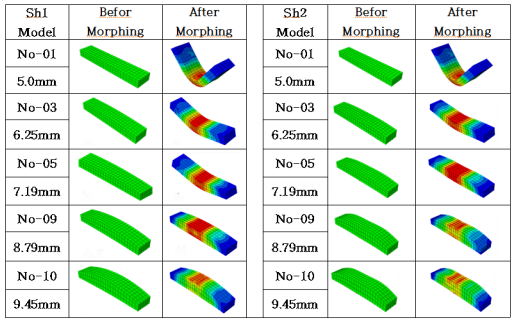
초기 결과와 Hyperstudy 최적화 결과를 비교하고, 분석한 결과를 Sh1은 Table 5와 Fig. 8의 (a)에 나타내고, Sh2는 Table 6과 Fig. 8의 (b)에 나타내었다.

[Table 5] Sh1, the results of analysis by thickness

Sh1	Thickness	Stress	Strain
01	5.0	119.2	0.303
02	5.52	100.8	0.188
03	5.8	84.11	0.111
04	6.08	78.0	0.075
05	6.91	71.87	0.050
06	7.32	64.19	0.028
07	7.79	61.74	0.014
08	8.58	60.51	0.010
09	9.46	47.49	0.003
10	10.78	30.59	0.002

[Table 6] Sh2, the results of analysis by thickness

Sh2	Thickness	Stress	Strain
01	5.0	119.2	0.303
02	5.436	99.18	0.175
03	6.25	77.22	0.078
04	6.60	73.71	0.058
05	7.19	68.13	0.034
06	7.606	62.73	0.017
07	7.958	62.40	0.011
08	8.36	60.35	0.007
09	8.792	58.27	0.0057
10	9.445	40.94	0.003



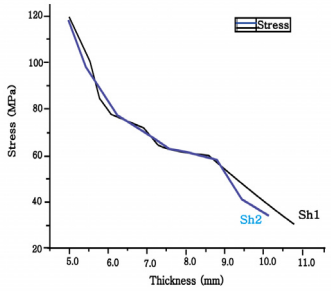
(a) Sh1 (b) Sh2

[Fig. 8] The results of analysis by thickness

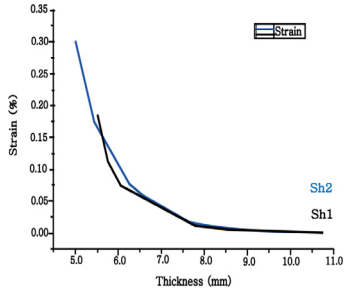
Fig. 9과 같이 초기 5mm 두께에서 스트레스가 119.2 MPa을 나타내고, 최적화 해석을 수행함으로 두께의 증가에 따라 Stress가 점차적으로 감소하였다.

Sh1모델의 경우 급격한 감소 현상을 보이다가 7~

9mm까지는 다소 완만한 감소를 나타내다가 9mm이후는 두께에 따라 비례하게 감소되었다. Sh2모델은 사다리꼴 형상으로 처리되었지만 Stress의 변화는 Sh1과 같이 9mm까지는 거의 비슷한 감소를 나타내고, 이 후에는 급격한 감소를 나타내었다.



[Fig. 9] Thickness and stress



[Fig. 10] Thickness and strain

Fig. 10과 같이 초기5mm인 플레이트 두께가 8mm까지 증가 하면서 형상방향 벡터크기가 서로 다르지만 Strain은 급격한 감소로 나타나고, 8mm이후에는 미소한 변화로 나타났다.

6. 결론

본 연구는 플레이트의 형상과 두께를 다르게 설정하여 Strain, Stress의 변화를 고찰하고, 두께와 형상에 대한 최적화를 하였다.

그 결과는 다음과 같다.

1) Strain 방향에서 Sh1, Sh2 모두 8mm 이상부터는 Strain 변화가 수평에 가까운 미소변화가 일어나고 Stress는 60MPa로 유지되었다.
2) 두께를 두껍게 할 경우 Stress는 소폭으로 줄어들지만 Strain 방향에서는 수평에 가까운 미세변화만 나타나므로 재료절감, 경량화, 강성 및 비용절감 차원에서 고려했을 때 7~8mm 두께가 최적화에 타당하다는 결론을 얻을 수 있었다.
3) 제품의 형상이 반 타원형(Sh1)인 경우보다 사다리꼴 형상(Sh2)인 제품두께 9mm이후에서 Stress가 급격히 감소하였다.

이는 반복 하중에 대하여 지속적인 내구력을 갖는 것으로 판단된다.

금형은 단일 방향의 변형보다는 복합 방향의 외력을 받는 경우가 많다. 그러므로 향후 개선점에서는 구조물의 정확한 거동을 파악할 수 있는 진보된 구조해석과 연계하여 구조물의 안정성과 경제성을 갖는 자동화된 해석 및 최적설계 알고리즘의 개발이 필수적이다.

References

[1] Fionn Dunne and Nik Petrinic, “Introduction to computation plasticity”, Oxford University, pp. 149-150, 2006.
[2] Dassault System Simulia, “Abaqus/Explicit Advanced Topics Manual”, pp. 321-332, 2013.
[3] John Tinsley Oden, “On Introduce Nonlinear finite element analysis”, Oxford University press, pp. 113-115, 2010.
[4] Dassault System Simulia, “Abaqus Analysis User's Manual”,Vol1 pp, 6.1.2-6.3.0, 2011.
[5] Altair Engineering, inc. “HyperWork/HyperMorph”, Morphing Controls, pp. 37-47, 2010.
[6] John Tinsley Oden, “On Introduce Nonlinear finite element analysis”, Oxford University press, pp. 393-394, 2010.
[7] Altair Engineering, inc.“HyperWork for Abaqus”, pp. 114-117, 2010.
[8] Altair Engineering, inc. “HyperStudy Introduction Manual”, pp. 39-71, 2010.
[9] Dassault System Simulia, “Abaqus Analysis User's Manual”,Vol1 Output, 413, 2011.

이 종 배(Jong-Bae Lee) **[정회원]**

- 2009년 2월 : 서울과학기술대학교 정밀기계공학과 (기계공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 대학원 기계공학부 (박사과정)
- 1990년 3월 ~ 현재 : (주)한국GM 생산기술연구소 (선임연구원)

<관심분야>
금형설계, 구조, 열, 비선형해석, 최적화해석

김 상 현(Sang-Hyun Kim) **[정회원]**

- 2011년 2월 : 인천대학교 대학원 기계공학부 (기계공학석사)
- 2014년 2월 ~ 현재 : 인천대학교 대학원 기계공학부 (박사과정 수료)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한국폴리텍2대학금형공학과 교수

<관심분야>
사출금형설계, 사출유동해석, 박판해석

우 창 기(Chang-Ki Woo) **[정회원]**

- 1889년 2월 : 단국대학교 기계공학 (공학박사)
- 1980년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 공학대학 기계시스템공학부 교수

<연구분야>
파괴역학, 금형설계, 비파괴해석(Using Acoustic Emission)