

정강도를 고려한 상부 컨트롤 암의 구조설계

송 병 철¹⁾ · 박 한 석¹⁾ · 권 영 민²⁾ · 김 성 환²⁾ · 박 영 철³⁾ · 이 권 희^{*3)}

동아대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · (주) 센트랄²⁾ · 동아대학교 기계공학과³⁾

Structural Design of an Upper Control Arm, Considering Static Strength

Byoungcheol Song¹⁾ · Hanseok Park¹⁾ · Youngmin Kwon²⁾ · Sunghwan Kim²⁾ ·
Youngchul Park³⁾ · Kwonhee Lee^{*3)}

¹⁾School of Mechanical Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

²⁾Technical Center, Central Corporation, 54 Seonsan-dong, Changwon-si, Gyeongnam 641-315, Korea

³⁾Department of Mechanical Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

(Received 15 July 2008 / Accepted 25 August 2008)

Abstract : This study proposes a structural design method for the upper control arm installed at the rear side of a SUV. The weight of control arm can be reduced by applying the design and material technologies. In this research, the former includes optimization technology, and the latter the technologies for selecting aluminum as a steel-substitute material. Strength assessment is the most important design criterion in the structural design of a control arm. At the proto design stage of a new control arm, FE (finite element) analysis is often utilized to predict its strength. This study considers the static strength in the optimization process. The inertia relief method for FE analysis is utilized to simulate the static loading conditions. According to the classification of structural optimization, the structural design of a control arm is included in the category of shape optimization. In this study, the kriging interpolation method is adopted to obtain the minimum weight satisfying the strength constraint. Optimum designs are obtained by ANSYS WORKBENCH and the in-house program, EXCEL-kriging program. The optimum results determined from the in-house program are compared with those of ANSYS WORKBENCH.

Key words : Upper control arm(상부 컨트롤 암), Shape optimization(형상최적설계), Kriging(크리깅), Inertia relief method(관성제거기법)

1. 서 론

자동차 부품 업계에서는 자동차 부품의 모듈화 및 경량화를 통해 개발 비용의 절감과 에너지 효율성을 높이기 위해 노력 하고 있다. 차량의 경량화 설계를 위하여 일부 부품들은 시작 설계 단계부터 그램(gram)단위까지 목표중량을 설정하여 개발되고 있다. 이는 자동차 부품 경량화 설계의 중요성을 보여주는 단적인 예이다.¹⁾ 그러므로 부품 설계단계에서 품질을 향상시키지 않으면 완성차 품질의 향상

은 기대하기 힘들다.

컨트롤 암의 한쪽 끝은 차체 프레임(frame)과 연결되고 다른 끝은 너클(knuckle)에 연결되어 피봇 역할을 한다. 컨트롤 암은 승차감(ride comfort)과 조종 안정성(handling performances)에 영향을 미치는 현가장치(suspension)의 핵심 부품이다. 본 연구에서 적용한 컨트롤 암은 Z 업체에서 생산되는 제품이며 SUV 차량에 장착이 되고 후륜용 상부 컨트롤 암이다.

현재 컨트롤 암 제조업계에서는 주로 강 및 알루미늄 계열의 단조품을 사용하여 컨트롤 암을 제작하고 있다. 이러한 컨트롤 암의 구조설계에 최적화 기술을

*Corresponding author, E-mail: leekh@dau.ac.kr

적용한 사례로는 다음과 같은 연구가 있었다. Lee²⁾ 등은 정강도를 고려하고 위상최적설계 및 형상최적설계를 통하여 최적의 구조형상을 제시하였다. Kim³⁾ 등은 내구성능을 고려하고 실험계획법을 이용하여 최적의 형상을 산출하였다. 또한 Kim⁴⁾ 등과 Ahn⁵⁾ 등은 컨트롤 암의 공정변수에 대한 최적해를 제시하였다. 본 연구에서는 재료기술과 최적화 기술을 이용하여 최적의 컨트롤 암 형상을 제시하고자 한다.

자동차부품의 재질은 자동차의 경량화 추세에 더불어 강에서 알루미늄으로 대체되는 비율이 증대되고 있다. 또한 상용 알루미늄합금 대비 고강도의 알루미늄 합금의 개발이 가속화되고 있다. 본 연구에서는 현재 상용화되고 있는 Al6061 합금보다 우수한 기계적 특성의 알루미늄 합금인 Al6061M6을 대체 재료로 하여 자동차 현가장치의 핵심 부품인 컨트롤 암에 적용하였다.

본 연구에서 적용한 최적화 기법은 위상최적설계(topology optimization)와 크리깅^{1,6,7)}을 이용한 메타모델 방법이다. 위상최적설계는 기본설계에서 중량을 최대한 감소시키기 위하여 적용한 기법이다. 또한 메타모델을 이용한 최적화 방법은 계산시간이 오래 소요되는 해석이 포함된 경우, 복곡면 등이 존재하여 형상변수의 정의가 어려운 경우, 또는 최적화 진행 중에 유한요소의 왜곡이 심하거나 깨지는 경우 등의 설계문제에 적합하다. 반면에 상용프로그램에 내장되어 있는 민감도를 이용한 고전적인 형상 최적설계 방법은 위에 열거한 문제의 해결에는 한계가 있다. 단조품인 컨트롤 암의 구조설계는 위에서 열거한 메타모델의 적용 가능한 예에서 두 번째와 세 번째에 해당된다. 참고문헌 2)에서도 정강도만을 고려하여 유사한 과정으로 최적화를 수행

하였으나 고전적인 형상최적설계 기법을 적용하였으므로 중량감소를 시키는 데는 본 연구에서 제시한 방법보다는 불리하다.

본 연구에서는 먼저 정강도 계산을 위한 4 가지의 하중조건 중 최악하중을 선정하여 이를 고려한 최적해를 산출하고 나머지 하중조건에 대해서도 검토를 한다. 유한요소해석 시 구속조건이 필요 없는 관성제거기법(inertia relief analysis)⁸⁾을 이용하였다. 형상설계변수는 CAD 모델에서 정의하며 크리깅 메타모델을 구성하기 위한 표본점에서 최대응력 및 중량의 반응치를 계산한다. 즉, 중량 및 최대응력에 대한 크리깅 메타모델을 가지고 최적화를 수행하는 것이다. 본 연구에서는 이 과정을 엑셀에서 구현 가능하도록 비주얼 베이직으로 EXCEL-kriging 프로그램을 개발하였다. 메타모델 기법으로 널리 적용되고 있는 반응표면법(response surface method)을 선택하지 않은 이유는 크리깅내삽법이 비선형성이 큰 함수의 예측에 유리하기 때문이다.

본 연구에서는 EXCEL-kriging 프로그램으로 산출된 결과를 ANSYS WORKBENCH⁹⁾에 최근에 내장된 최적화 기법인 DOE와 크리깅 방법에 의한 두 가지 결과와 비교, 검토하였다.

2. 경량화를 위한 재료 검토

일반적으로 고강도 알루미늄합금은 강도확보를 위해 구리 및 망간 함량을 높여 재결정립의 성장을 억제할 수 있다. 컨트롤 암 재료를 위해 이 특성을 이용하고 동시에 결정립을 미세화 하고 마그네슘 함량을 낮추어 미세 석출물의 고른 분산을 도모하였다. 상용 Al6061 합금과 개발된 Al6061M6 합금의 원소재에 대한 미세조직을 Fig. 1(a), (b)에 각각 표시

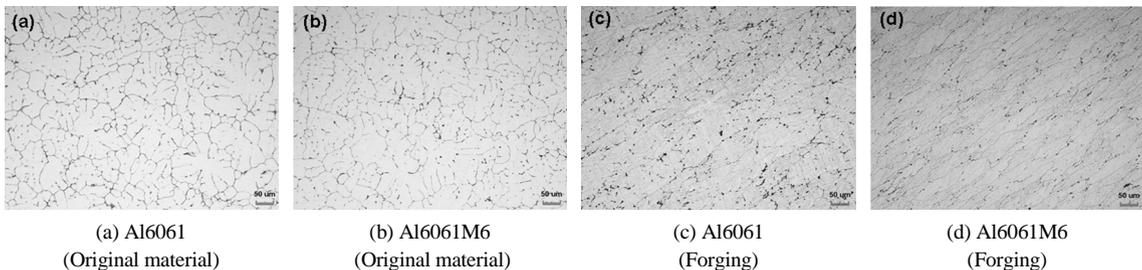


Fig. 1 Microstructure of aluminum alloy

Table 1 Comparison between Al6061 and Al6061M6

	Al6061	Al6061M6
Yield Stress (MPa)	270	315
Tensile Strength (MPa)	310	345
Young's Modulus (MPa)	72,000	72,000
Density (kg/mm ³)	2.71×10 ⁻⁶	

하였다. 이들의 미세조직은 유사한 경향을 나타내고 있다. 수십 마이크로미터의 등축정 셀이 형성되어 있으며, 석출물들이 고르게 분포하고 있다. 또한 Fig. 1(c), (d)는 두 합금의 단조와 열처리후의 미세조직을 나타낸 것이다. 단조 후 Al6061 과 Al6061M6의 조직을 비교해 보면, Al6061M6의 조직이 보다 더 미세한 재결정립을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그리고 석출물 또한 미세하고 고르게 분포된 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 망간의 함량이 용체화 처리 시 재결정립의 조대화를 억제시키기 때문으로 판단된다. 그리고 구리의 함량을 증가시키고 마그네슘의 함량을 낮추어 규소화마그네슘(Mg₂Si) 상의 조대화를 최소화 하였다. 위와 같은 방법으로 개선된 고강도 알루미늄 합금인 Al6061M6의 대표적인 재료 물성치를 Al6061 재료의 것과 비교하여 Table 1에 정리하였다.

본 연구에서는 초기 시작단계 시 사용되었던 Al6061 재질을 경량화를 위해 기계적 성질이 개선된 알루미늄 합금인 Al6061M6으로 대체하였다.

3. 컨트롤 암의 구조설계

3.1 하중조건과 초기 유한요소 해석결과

완성차 업체나 컨트롤 암 제조업체들은 정강도 평가를 위한 하중조건과 그에 상응하는 기준을 가지고 있다. 본 연구에서는 Z 업체에서 사용되고 있는 4가지하중을 고려하였고, 이 중 가장 엄격한 하중조건을 고려하여 최적화를 수행 하였다.

상부 컨트롤 암의 초기 유한요소 모델과 최악 하중조건을 Fig. 2에 표시하였다. 유한요소 모델 생성 시 3 자유도를 가지는 사면체 요소를 사용하였으며 요소의 크기는 수렴해석을 통하여 결정하였다. 컨트롤 암과 다른 요소와 연결되는 하드 포인트(hard point)를 Fig. 2에서 A, B, C로 표시하였다. 관성제거 해석 시 이 점들에 Fig. 2에 표시한 하중크기가 입력

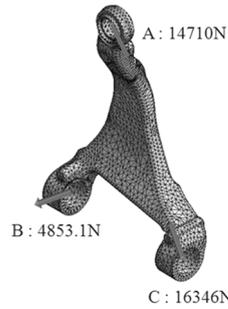


Fig. 2 FE model and loading condition

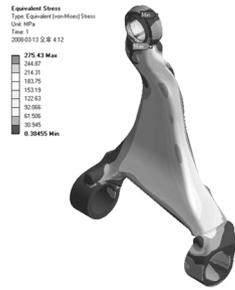


Fig. 3 Stress contour at the initial design

이 된다. 관성제거해석은 강체 운동을 하고 있는 구조를 해석할 때 쓰이는 방법으로써, 외력이 결정되어 있으나 강체운동을 구속할 변위 경계조건이 주어지지 않은 경우이다.⁸⁾ 초기 시작모델의 최악 하중조건에 대한 강도해석 결과를 Fig. 3에 표시하였다. 이 때 재질은 Al6061M6으로 고려하였다. 초기모델에서의 검토되는 응력인 최대 폰미세스 응력(von-Mises stress)은 275.43MPa를 나타내고 있으며 중량은 1946.85g이다.

이 하중조건에서 Z 사의 정강도 평가기준은 재료의 항복응력으로 설정되어 있다. 따라서 Al6061M6에 대해서는 초기설계가 이를 만족시키고 있으므로 충분히 경량화를 시킬 수 있는 여지가 있다고 판단하여 본 연구에서 컨트롤 암의 구조최적화를 수행 하였다.

3.2 최적설계 정식화 및 절차

본 연구에서는 주어진 하중조건 하에서 중량을 최대한 감량시키기 위하여 위상최적설계를 수행한 후 메타모델을 이용한 형상최적설계를 수행하였다. 위상최적화는 상용소프트웨어⁹⁾에 내장되어 있는 기능을 이용하였다. 이의 정식화는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Find} && \text{Mass Distribution} \\
 & \text{Maximize} && \text{Stiffness} && (1) \\
 & \text{Subject to} && W \leq W_{\text{original}} \times \alpha\% \\
 & && \alpha_i (i = 10, 20, \dots, 60)
 \end{aligned}$$

여기서 W 는 컨트롤 암의 중량, W_{original} 은 컨트롤 암의 초기 중량이다.

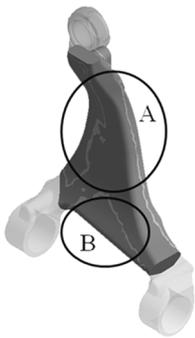


Fig. 4 Result of topology optimization ($\alpha = 60$)

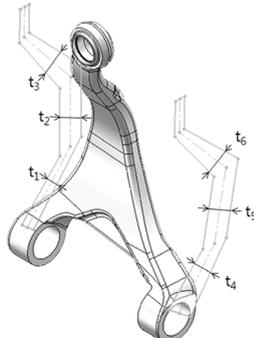


Fig. 5 Definition of design variables

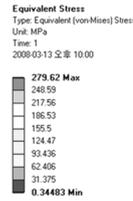


Fig. 6 Initial stress contour for shape optimization

위상최적화는 α 의 값을 10%부터 60%까지 10% 간격으로 변경하면서 수행하였고 $\alpha=60$ 에 대한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그 결과를 고찰해보면 Fig. 4의 B부분을 상당량 제거하고 A부분을 형상설계 변수로 설정하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

형상설계변수는 CAD 모델에서 Fig. 5와 같이 정의 하였다. 컨트롤 암은 Fig. 5에서 좌측편 두께와 우측편의 두께가 다르다. 따라서 두 개의 스케치 면을 이용하여 두께를 생성하였다. 정의된 형상설계변수는 $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ 으로 총 6개이다. 유한요소해석 시 컨트롤 암의 단조 후 가공을 위한 기준점이 되는 로케이션 패드(location pad)는 고려하지 않았다. 메타모델 구성을 위해 표본점을 생성한 후 각 실험점에 대해 유한요소 해석을 수행해야 한다. 그런데 각각의 실험점에 따라 설계변수를 변경하면 로케이션패드 부분의 필렛부가 왜곡이 되어 찌그러져 모델이 자동적으로 생성되지 않는 경우가 발생한다. 또한 로케이션 패드의 유무에 따라 최대응력의 발생위치나 크기는 거의 변함이 없으므로 이를 고려하지 않은 것이다.

식 (1)의 위상최적설계로부터 Fig. 4의 결과를 도출하였고 Fig. 4의 B부분을 제거한 후의 유한요소해석 결과를 Fig. 6에 표시하였다. 최대응력은 279.62 MPa이고 중량은 1802.8g을 나타내고 있다. 다음은 이 모델을 기초로 Fig. 5에서 설정한 설계변수에 의한 형상최적설계를 수행한다. 고전적인 형상최적설계방법^{10,11)}으로는 Fig. 5의 형상설계변수를 정의하기도 어려울뿐더러 최적화과정 중에 요소가 파괴될 가능성이 높다. 이를 방지하기 위하여 본

연구에서는 메타모델을 이용한 형상최적설계를 수행하였다.

상부 컨트롤 암의 형상최적설계를 위한 정식화는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} && W(t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6) \\ & \text{Subject to} && \sigma_i \leq \sigma_a \quad (i=1, \dots, n_e) \quad (2) \\ & && t_{iL} \leq t_i \leq t_{iU} \quad i=1, \dots, 6 \end{aligned}$$

여기서 W 는 무게, σ_i 는 각각의 요소의 응력, n_e 는 요소의 개수이고 σ_a 는 허용응력으로 본 연구에서는 항복강도로 설정하였다. 그리고 $t_L=[7.60 \ 12.68 \ 15.02 \ 14.54 \ 11.44 \ 16.64]$ mm이고 $t_U=[9.50 \ 15.85 \ 18.87 \ 18.17 \ 14.30 \ 20.80]$ mm 이다.

식 (2)에서 요소 수만큼 메타모델을 생성하는 것은 불가능하므로 식 (2)의 정식화에서 목적함수와 응력에 관한 제한조건함수는 식 (3)과 같이 수정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} && \widehat{W}(\mathbf{t}) \\ & \text{Subject to} && \widehat{\sigma}_{\max} \leq \sigma_a \quad (3) \end{aligned}$$

여기서 $\widehat{W}, \widehat{\sigma}_{\max}$ 는 각각 중량 W 와 최대응력 σ_{\max} 에 대한 추정치를 표시한 것이다. 즉 본 연구에서는 이 반응치에 대한 크리깅 메타모델을 구성하여 최적해를 산출하였다.

본 연구에서 수행한 대략적인 최적화설계과정을 Fig. 7에 표시하였다. 처음에 유한요소모델을 구성한 후 위상최적화를 수행한다. 이 결과로부터 강성에 둔감한 영역을 제거하고 형상설계 변수를 설정

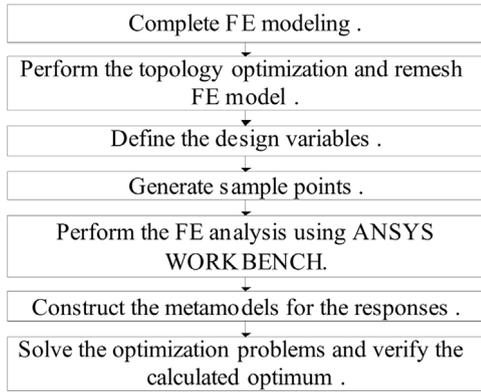


Fig. 7 Design process

한다. 그 다음, 식 (3)을 풀기 위해 표본점을 생성한다. 본 연구에서는 최대엔트로피법(maximum entropy method)⁹⁾을 적용하였다. 각 표본점에 대하여 유한요소해석을 수행한 후, 중량과 최대응력에 대한 크리깅메타모델을 구성하고 식 (3)을 EXCEL에 내장되어 있는 최적화 알고리즘으로 해결한다.

3.3 크리깅 이론

다음은 크리깅 이론에 대한 간단한 소개이다.^{1,6,7)} 먼저 반응모델 $y(x)$ 는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$y(\mathbf{x}) = f(\mathbf{x}) + z(\mathbf{x}) \quad (4)$$

여기서 x 는 n 개의 성분으로 구성된 설계변수벡터, $f(x)$ 는 알고 있는 함수이며 $z(x)$ 는 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 정규분포를 따르는 확률변수이다. 반응함수 $y(x)$ 는 각각 W, σ_{max} 로 대응되며 $x = [t_1 \ t_2 \ t_3 \ t_4 \ t_5 \ t_6]$ 이다. 그리고 이때 $f(x)$ 는 식 (5)와 같이 상수로 대체할 수 있다.

$$y(\mathbf{x}) = \beta + z(\mathbf{x}) \quad (5)$$

$\hat{y}(\mathbf{x})$ 를 근사모델이라고 하면 $y(x)$ 와 $\hat{y}(\mathbf{x})$ 의 평균제곱오차(mean squared error)가 최소가 되도록 하면 $\hat{y}(\mathbf{x})$ 는 다음과 같이 예측된다.

$$\hat{y}(\mathbf{x}) = \hat{\beta} + \mathbf{r}^T(\mathbf{x})\mathbf{R}^{-1}(y - \hat{\beta})\mathbf{q} \quad (6)$$

여기서 $\hat{\beta}$ 는 β 의 추정치, \mathbf{R}^{-1} 은 상관행렬 \mathbf{R} 의 역행렬 \mathbf{r} 은 상관벡터, y 는 n_s 개의 표본데이터 벡터이고, \mathbf{q} 는 n_s 개 성분을 갖는 단위벡터이다. 상관행렬 및 상관벡터는 다음 식과 같이 정의된다.

$$R(X^j, X^k) = \text{Exp} \left[- \sum_{i=1}^n \theta_i |x_i^j - x_i^k|^2 \right], \quad (7)$$

$(j = 1, \dots, n_s), (k = 1, \dots, n_s)$

$$\mathbf{r}(\mathbf{x}) = [R(\mathbf{x}, \mathbf{x}^{(1)}), R(\mathbf{x}, \mathbf{x}^{(2)}), \dots, R(\mathbf{x}, \mathbf{x}^{(n_s)})]^T \quad (8)$$

여기서 θ_i 는 i 번째 설계변수에 대응하는 i 번째 모수(parameter)이다. 이때 우도함수(likelihood function) L 은 다음과 같이 정의된다.

$$L(y, \theta, \beta, \sigma^2) = \frac{(2\pi\sigma^2)^{-n_s/2}}{\sqrt{|\mathbf{R}|}} \cdot \text{Exp} \left[- \frac{(y - \beta)^T \mathbf{R}^{-1} (y - \beta \mathbf{q})}{2\sigma^2} \right] \quad (9)$$

여기서 y 는 n_s 개의 표본점에 대한 실험값이다. 식 (15)으로부터 로그우도함수를 β 및 σ^2 에 대해 미분하고 0으로 놓으면, β 와 σ^2 의 최대우도 추정치는 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{\beta} = (\mathbf{q}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{q})^{-1} \mathbf{q}^T \mathbf{R}^{-1} y \quad (10)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{(y - \hat{\beta} \mathbf{q})^T \mathbf{R}^{-1} (y - \hat{\beta} \mathbf{q})}{n_s} \quad (11)$$

그리고 미지의 모수 $\theta_1, \dots, \theta_n$ 은 다음 식으로부터 구해진다.

$$\text{Maximize} - \frac{[n_s \ln(\hat{\sigma}^2) + \ln|\mathbf{R}|]}{2} \quad (12)$$

여기서 $\theta_i (i=1, 2, \dots, n) > 0$ 이다. 본 연구에서는 크리깅 방법을 컨트롤 암 설계에 쉽게 적용할 수 있도록 EXCEL-kriging 프로그램을 개발하였다.

근사화된 크리깅 모델의 타당성^{1,6,7)}은 여러 가지 지수로 평가할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 상용 소프트웨어에서 지수 제공을 하지 않으므로 이에 대한 비교는 수행하지 않았다. 대신 산출된 최적해에서 추정치와 유한요소 해석 결과치의 오차를 계산하였다.

4. 최적화 결과

본 연구에서는 식 (3)의 최적화 문제를 EXCEL - kriging 프로그램과 최근에 상용소프트웨어⁹⁾에 내장되어 있는 반응표면법과 크리깅법을 이용해서 해결하였다. 이때 표본점 생성 방법은 최대엔트로피 방법을 이용하였고 표본점 수는 50으로 하였다. 각각의 실험점을 Table 2에 표시하였다. 각 행에 대하

Table 2 Experiment matrix using maximum entropy method

	t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	t ₃ (mm)	t ₄ (mm)	t ₅ (mm)	t ₆ (mm)	W(g)	σ _{max} (MPa)
1	8.23	13.47	18.22	14.57	12.61	19.51	1579.6	338.07
2	8.11	14.93	16.91	15.23	11.47	19.09	1574.0	349.58
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
49	7.73	15.12	18.60	15.88	12.67	19.34	1614.1	339.82
50	7.77	14.04	17.60	18.06	12.56	18.01	1586.5	350.71

Table 3 Summaries of optimum results

Design variable		t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	t ₃ (mm)	t ₄ (mm)	t ₅ (mm)	t ₆ (mm)	W(g)	σ _{max} (MPa)
Initial design		9.50	15.85	18.78	18.17	14.30	20.80	1946.85	275.43
ANSYS WORKBENCH	Kriging	8.79	15.83	17.25	15.85	14.26	17.35	1635.90	310.60
	RSM	9.25	14.61	17.51	15.21	14.20	19.89	1639.80	295.80
Kriging optimum		9.14	13.47	15.07	18.17	12.38	20.80	1598.80	315.06

여 유한요소해석을 수행한 것이며 중량과 최대응력을 반응치로 하여 메타모델을 생성하였다. 이 때 각 실험점의 유한요소해석은 자동적으로 수행이 된다.

본 연구에서 개발한 프로그램의 결과와 상용소프트웨어⁹⁾의 결과를 Table 3에 표시하였다. 이때 중량 및 최대응력은 추정치가 아닌 유한요소해석을 통해 산출된 값이다. 상용소프트웨어⁹⁾에서는 메타모델이 가지는 불확실성을 보완하기 위하여 최종 3개의 후보최적점을 제시하는데 이 중 제한조건을 만족시키면서 중량이 최소가 되는 값을 기록한 것이다.

세 가지 결과 중 본 연구에서 제시한 방법이 가장 우수한 해임을 알 수 있다. 반면에 상용소프트웨어에 의한 결과가 불리하게 나타나는 현상은 추정된 최적해 근방에서 랜덤하게 3개의 후보최적점을 추천하기 때문에 발생하는 것으로 추측된다. 즉, 본 연구에서 제시한 최적해에서는 최대응력이 허용응력과 거의 동일하게 산출되는 활성화 제한조건(active constraint)이다. 반면에 상용소프트웨어의 반응표면이나 크리깅 방법에서 산출된 최적해에서의 최대응력은 허용응력과 차이를 보이고 있다. 이는 중량을 더욱 감소시킬 수 있는 여지가 있음을 보여준다.

최적해에서 유한요소해석을 수행한 결과를 예측된 최대응력과 비교해보면 0.02%의 오차를 보이고 있다. 또한 비선형성이 크지 않은 컨트롤 암의 중량의 추정치는 실제 중량값과 거의 오차가 없었다. 따라서 Excel-kriging 프로그램을 이용해 구성된 크리

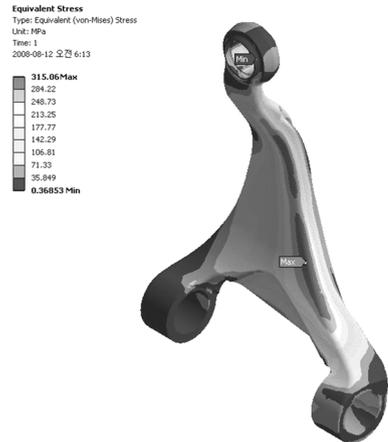


Fig. 8 Stress contour at the optimum design

Table 4 Maximum Von-Mises stress with respect to loading condition

Stress	Load cases (MPa)			
	1 st	2 nd	3 rd	4 th
σ _{max}	97.627	56.41	244.88	315.06

깅 모델은 비교적 정확하다고 평가 할 수 있다. 최종 산출된 최적해에서의 최악 하중조건에 대한 컨트롤 암의 정강도 해석결과를 Fig. 8에 나타내었다.

산출된 최적형상에 대하여 최악조건이 아닌 나머지 3 개의 하중조건에 대해서도 정강도 해석을 수행하였으며 이를 Table 4에 표시하였다. 최적형상에서도 최악조건에서 가장 큰 응력이 발생하였으며 나

머지 3 개의 하중조건에서도 강도기준을 만족시키고 있다.

5. 결론

- 1) 본 연구에서는 상부 컨트롤 암의 경량화를 위해 Al6061에 비해 고강도인 Al6061M6을 대체 재료로 적용하였다. 항복강도는 약 17%, 인장강도는 약 10%가 향상이 되었다.
- 2) 본 연구에서는 단조품의 컨트롤 암 형상최적설계를 위한 일련의 절차를 제시하였으며 정강도만을 고려하여 이를 초기모델 대비 약 18%의 중량감소를 이룰 수 있었다.
- 3) 개발한 Excel-kriging 프로그램에 의한 최적해는 상용프로그램에서 최근 삽입한 메타모델에 의한 최적해 보다 우수함을 알 수 있었다.
- 4) 본 연구는 정강도만을 고려하여 최적해를 산출한 것으로써, 보다 실질적인 최적해의 산출을 위해서는 내구조건을 고려한 최적화 및 시험을 통한 검증이 요구된다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

References

- 1) K. H. Lee and D. H. Kang, "Structural Optimization of an Automotive Door Using the Kriging Interpolation Method," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D: Journal of Automobile Engineering, Vol.221, No.12, pp.1524-1534, 2007.
- 2) D. C. Lee and J. I. Lee, "Structural Optimization Concept for the Design of an Aluminium Control Arm," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, Vol.217, No.8, pp.647-656, 2003.
- 3) M. S. Kim, C. W. Lee, S. H. Son, H. J. Lim and S. J. Heo, "Shape Optimization for Improving Fatigue Life of a Lower Control Arm Using the Experimental Design," Transactions of KSAE, Vol.11, No.3, pp.161-166, 2003.
- 4) Y. S. Kim, H. S. Son, J. Y. Park, S. G. Choi and S. H. Yang, "Finite Element Analysis to Design and Optimized Forming Conditions for Lower Control Arm," Metallurgical and Materials Transactions A, Vol.37A, pp.2539-2547, 2006.
- 5) P. S. Ahn, S. M. Baeck, H. D. Lee, D. U. Kim and W. J. Kim, "Development of Aluminum Automotive Control Arm Using Squeeze Casting Process," Proc. JSAE Annual Congress, Vol.18-06, pp.9-12, 2006.
- 6) J. Sacks, W. J. Welch, T. J. Mitchell and H. P. Wynn, "Design and Analysis of Computer Experiments," Statistical Science, Vol.4, No.4, pp.409-435, 1989.
- 7) A. Guinta and L. Watson., "A Comparison of Approximation Modeling Techniques: Polynomial versus Interpolating Models," Proceedings of the 7th AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, St. Louis, Mo, AIAA, Vol.2, pp. 392-440, 1998.
- 8) Bessert N. and Frederich O., "Nonlinear Airship Aeroelasticity," Journal of Fluids and Structures, Vol.21, No.8, pp.731-742, 2005.
- 9) DNDE, ANSYS WORKBENCH-Simulation Introduction Release 10.0, Busan, Korea, 2006.
- 10) MSC Software Corporation, MSC.NASTRAN 2004 Design Sensitivity and Optimization User's Guide, Santa Ana, California, 2004.
- 11) VR & D, Inc., GENESIS Version 6.0 User's Manual, Colorado Springs, Colorado, 2000.