

강도조건을 고려한 벽걸이 모니터 브라켓 암의 다중목적 근사최적설계

도재혁* · 이종수**

* 연세대학교 기계공학부

Approximate Multi-Objective Optimization of A Wall-mounted Monitor Bracket Arm Considering Strength Design Conditions

Jaehyeok Doh* and Jongsoo Lee**

* School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.

(Received December 19, 2014 ; Revised March 10, 2015 ; Accepted March 19, 2015)

Key Words: Approximate Optimization(근사 최적화), Central Composite Design(중심합성계획법), D-optimal design(D-최적 계획법), Response Surface Method(반응표면법), NSGA-II(비지배 분류 유전알고리즘), Parameter Study(파라미터 분석), ANOM(평균 분석), Bracket Arm(브라켓 암)

초록: 본 연구에서는 벽걸이 모니터 브라켓 암의 다중목적 근사최적설계를 수행하였다. 이를 위해 브라켓 암의 자유도를 고려하여 평면내의 회전 각도를 선정해 응력과 처짐량이 크게 발생하는 경우에 대한 최적화 문제를 정식화 하였다. 직교배열표와 반응표면법을 사용하여 평균 및 파라미터 분석을 통해 성능지수에 대한 설계변수 민감도를 확인하였으며, 중심합성계획법과 D-최적 계획법을 사용하여 목적함수와 제한조건함수에 대하여 반응표면 근사모델을 생성하고 R² 값을 통해 정확도를 평가하였다. 이를 비지배 분류 유전알고리즘에 적용하여 최적화를 수행하고 유한요소해석을 통해 검증하였다. 또한, 중심합성계획법과 D-최적 계획법을 이용한 최적해를 비교 분석하였다.

Abstract: In this study, an approximate multi-objective optimization of a wall-mounted monitor bracket arm was performed. The rotation angle of the bracket arm was determined considering the inplane degree of freedom. We then formulated an optimization problem on maximum stress and deflection. Analyses of mean and design parameters were conducted for sensitivity regarding performance with orthogonal array and response surface method (RSM). RSM models of objective and constraint functions were generated using central composite (CCD) and D-optimal design. The accuracy of approximate models was evaluated through R² value. The obtained optimal solutions by non-dominant sorting genetic algorithm (NSGA-II) were validated through the finite element analysis and we compared the obtained optimal solution by CCD and D-optimal design.

- 기호설명 -

- x_i : 설계변수
- f_i : 목적함수
- g_i : 구속함수
- w : 중량 (Kg)
- E : 탄성계수 (MPa)
- ν : 푸아송 비
- ρ : 밀도 (Mg/mm³)
- σ : 본 미세스 응력 (MPa)

- N : 실험횟수
- X : 실험점 조합행렬

1. 서론

벽걸이 모니터 브라켓 암은 다양한 곳에서 벽걸이 모니터를 지지 하거나 사용자 편의에 맞게 모니터를 이동시켜 시청할 수 있는 용도로 많이 사용되고 있다. 브라켓 암의 일반적인 예는 Fig. 1 과 같다. 이는 기본적으로 4 개의 파트로 구성되어 있다. 두 개의 암, 이를 지지 하는 축과 고리로 구성되어 있다. 일측은 벽에 고정되어 있으면서 타측에 모니터를 장착하여 지지하는 형태이다. 이러한

† Corresponding Author, jleej@yonsei.ac.kr

지지 형태는 벽걸이 모니터의 중량과 브라켓 암의 자중에 의한 처짐과 응력이 발생한다. 또한, 전자에 언급했듯이 사용자 편의에 따라 모니터를 회전시킬 수 있다. 브라켓 암의 자유도를 고려하였을 때, 평면내의 회전 각도에 따라 발생하는 처짐과 응력이 다르며 이에 대한 최적설계가 필요하다.

Jung 등⁽¹⁾은 다구찌 기법을 이용하여 차량용 힌지 브라켓 강건최적화를 수행하였다. 이는 직교배열표를 사용하여 설계변수 수준(level) 변화에 따른 성능지수 민감도에 대한 강건성을 유지하는 최적해를 도출하였다. 이산(discrete) 실험계획을 이용하여 평균분석을 통해 최적해를 찾는 과정에서 연속적 전역 탐색을 통한 최적해를 찾을 수 없는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 반응표면법 기반 근사최적화 기법을 강건설계 및 신뢰성 기반 최적화 설계등과 같은 확률적 설계에 효율적으로 해를 얻을 수 있다.

Lee 등⁽²⁾은 반응표면근사모델 생성에 있어 실험 계획법을 통해 입력력 훈련데이터를 생성하고, 이로부터 최소 자승법을 이용해 엄밀해와 근사해의 절대차를 얻는다. 이를 기반으로 한 순차적 근사 기법은 불균형 및 균형 제약조건 최적화 설계에서 제약조건의 가용성을 높이기 위해 반응표면기법 기반 메타모델을 이용하여 근사최적 설계를 수행하여 연속적인 전역 탐색 최적해를 산출하였다.

본 연구에서는 모니터의 중량을 지지하는 데에 있어 브라켓 암의 원가 절감을 위한 중량 최소화 와 모니터 중량에 의한 처짐 최소화를 다중목적 함수로 선정하고 제한조건으로 응력과 암의 길이를 선정하였다. 또한, 설계변수 후보를 선정하여 평균분석⁽³⁾을 통해 성능지수에 대한 민감도를 확인하여 영향이 미비한 설계변수를 제외하고 효율적으로 시험횟수를 줄이는 과정을 거쳤다. 이어 중심합성계획법⁽⁴⁾(CCD)과 D-최적 계획법⁽⁵⁾을 사용하여 목적함수와 제한조건 함수에 대한 반응표면 모델⁽⁶⁾을 생성하고 비지배 분류 유전알고리즘 (NSGA-II)⁽⁷⁾을 사용하여 다중목적 근사최적설계를 수행한다. 이를 통해 얻은 파레토(Pareto) 최적해 집합에 대해 유한요소해석을 통한 검증을 수행하

고 CCD 와 D-최적 계획법을 비교 분석한다.

2. 근사최적설계 정식화

2.1 목적함수 및 제한함수 선정

본 연구에서는 벽걸이 모니터 브라켓 암 근사최적 설계를 수행하기에 앞서 설계변수, 목적함수, 제한함수를 선정한다. 이는 설계변수들로 이루어진 2 차 다항식 형태로 나타낼 수 있다. 브라켓 암 핀(pin)부와 단면에 대한 길이 방향으로의 최외곽 부 두께는 10mm 로 동일하게 하였으며 Fig. 2 와 같이 브라켓 암 단면의 두께(x_1, x_2, x_3, x_4), 암의 길이(x_5, x_6)에 대해 총 6 개를 설계변수 후보로 선정하여 이에 대한 파라미터 및 평균분석을 통해 성능지수에 많은 영향을 미치는 설계변수를 추출하여 근사최적설계를 수행한다. 모니터의 중량과 자중에 의한 처짐이 발생하고 이에 대한 강도조건을 고려 할 필요성이 있다. 또한 암 각도에 따른 비틀림에 대해서도 적절한 강도를 유지해야 한다. 이를 위해 다중 목적함수로 중량과 변위를 최소화 하고, 제한조건은 허용응력과 암의 총 길이가 337mm 를 넘지 않는 근사최적설계를 수행한다.

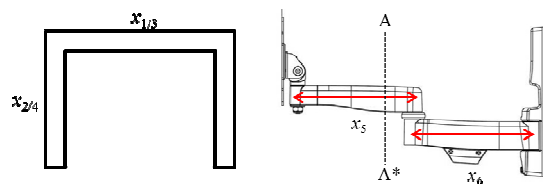
2.2 최적설계 정식화 및 기초모델

2.1 절에서 정의한 최적화 문제를 수학적으로 정식화하고, 브라켓 암 기초모델에 대한 초기 파라미터들은 아래와 같이 나타내었다. 총 변수 6 개로 이루어진 목적함수는 변위와 중량을 동시에 최소화 하는 다중목적 함수이다. 또한, 제한함수도 설계변수들로 이루어진 함수이다. 이에 대해 von Mises 응력이 70MPa 이하를 만족하고 암의 길이가 337mm 를 넘지 않는 제한조건을 부여하여 최적화 설계를 수행한다.

$\text{Min. } f_{\text{weight}}(x) \text{ (Kg)}$ $\text{Min. } f_{\text{displacement}}(x) \text{ (mm)}$ $\text{Subject to } g_{\text{stress}}(x) \leq 70 \text{ (MPa)} \quad (i=1, 2, \dots, 6)$ $336 \leq g_{\text{length}}(x_5, x_6) = x_5 + x_6 \leq 337 \text{ (mm)}$ $2 \leq x_i \leq 4 \quad (i = 1, 2, \dots, 4)$ $156 \leq x_i \leq 180 \quad (i = 5, 6)$ $\text{Initial parameters}$ $[x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6] = [3 \ 3 \ 3 \ 3 \ 168 \ 168] \text{ (mm)}$
--



Fig. 1 Bracket arm



(A-A* : Cross section)

Fig. 2 Design variables of bracket arm

Table 1 Material property for FEM

Material	E (MPa)	ν	ρ (Mg/mm ³)
Aluminum	68,900	0.3	$2.7e-9$

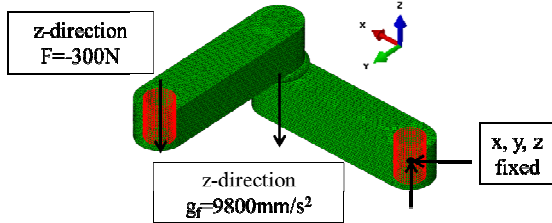


Fig. 3 Boundary conditions for FEM

3. 유한요소해석

3.1 유한요소 모델링

브라켓 암의 유한요소해석을 수행하기 위해 Hyper Mesh 11.0⁽⁸⁾을 사용하여 격자를 생성하였다. 이는 사면체 요소 (C3D4)를 사용하여 모델링을 수행하였다. 또한, 실제 모델을 간소화 시켜 4 개의 파트로 구성하였으며, 해석 시간을 고려하여 파트 간의 접촉조건을 부여하지 않고 절점공유를 시켰다. 유한요소모델의 총 요소와 절점 수는 각각 약 250,000 개, 56,000 개로 생성하였다.

3.2 경계조건 및 재료물성

브라켓 암은 알루미늄 재료로 이루어져있으며 재료 물성치는 Table 1 과 같다. 경계조건은 Fig. 3 과 같이 일측에 구속조건을 부여하고 타측에는 300N 을 인가하였다. 일반적으로 상용 벽걸이 모니터 중량이 25~30Kg 이며 이를 근거로 하중조건을 부여하였다.

3.3 브라켓 암 각도에 따른 유한요소해석

브라켓 암은 사용자 편의에 따라 모니터를 이동시킬 수 있다. 이에 따라 발생하는 응력과 처짐량이 달라질 수 있다. 본 연구에서는 브라켓 암의 자유도를 고려하여 Fig. 4 와 같이 4 가지 케이스를 선정했다. 각 케이스에 대해 ABAQUS 6.12⁽⁹⁾를 사용하여 유한요소해석을 수행하고 응력과 처짐량이 최대가 되는 케이스를 선정하여 이에 대한 근사최적설계를 수행하였다. 각 케이스에 대한 해석결과는 Table 2 에 나타내었으며, 여기서 케이스 3 이 가장 큰 응력과 처짐량이 발생한 것을 알 수 있었다.

4. 민감도 및 파라미터 분석

4.1 직교 배열표

민감도 및 파라미터 분석을 수행하기 위해 설계

Table 2 Case study in accordance with angle positions

Angle Position Case i (x_5 / x_6)	von Mises Stress (MPa)	Displacement (mm)
Case 1 (90°/90°)	37.50	0.6359
Case 2 (45°/90°)	76.80	1.0260
Case 3 (90°/0°)	79.83	1.2770
Case 4 (135°/0°)	56.48	0.7331

Table 3 Orthogonal array ($L_{18}3^6$)

No.	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	σ (MPa)	Dis (mm)	w (Kg)
1	2	2	2	2	156	156	104.8	1.31	1.139
2	3	3	3	3	168	168	79.83	1.277	1.241
3	4	4	4	4	180	180	90.10	1.325	1.355
4	2	2	3	4	168	180	66.38	1.261	1.241
5	3	3	4	2	180	156	106.4	1.475	1.230
6	4	4	2	3	156	168	81.60	1.160	1.250
7	2	3	2	4	180	168	80.61	1.209	1.126
8	3	4	3	2	156	180	119.7	1.786	1.235
9	4	2	4	3	168	156	71.36	1.024	1.228
10	2	4	4	2	168	168	94.24	1.575	1.242
11	3	2	2	3	180	180	93.65	1.860	1.221
12	4	3	3	4	156	156	65.61	0.741	1.251
13	2	3	4	3	156	180	78.18	1.282	1.243
14	3	4	2	4	168	156	65.42	0.861	1.266
15	4	2	3	2	180	168	104.3	1.936	1.213
16	2	4	3	3	180	156	79.55	1.192	1.255
17	3	2	4	4	156	168	56.99	0.8884	1.244
18	4	3	2	2	168	180	110.1	2.182	1.222

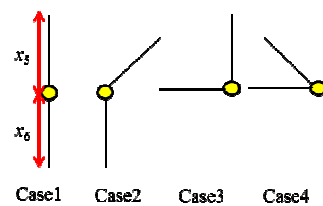


Fig. 4 The case of angle positions

변수 [$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$] 에 대하여 6 인자 3 수준 직교 배열표^(10,11)를 이용하여 Table 3 과 같이 실험계획을 수립하였다. 이에 대해 유한요소해석을 수행하여 응력, 처짐, 무게에 대한 성능지수를 얻었다.

4.2 반응표면법을 이용한 파라미터 분석

직교 배열표를 통해 얻은 성능지수 데이터를 바탕으로 반응표면근사모델을 생성하여 설계변수 변화에 따른 성능지수 경향성을 알아보는 파라미터 분석을 수행하였다. 기존 두께 3mm, 길이 168mm 를 기준으로 설계변수가 상/하한 범위 내에서 변

화할 때 성능지수 변화가 선형 또는 비선형 여부를 판단할 수 있다. 응력과 변위 대한 파라미터 분석은 x_1, x_2, x_3 에 대해서 비선형성이 강하다는 것을 알 수 있었으며, 중량에 대한 비선형성은 x_4 가 비교적 비선형성이 큰 것을 알 수 있었다. 설계변

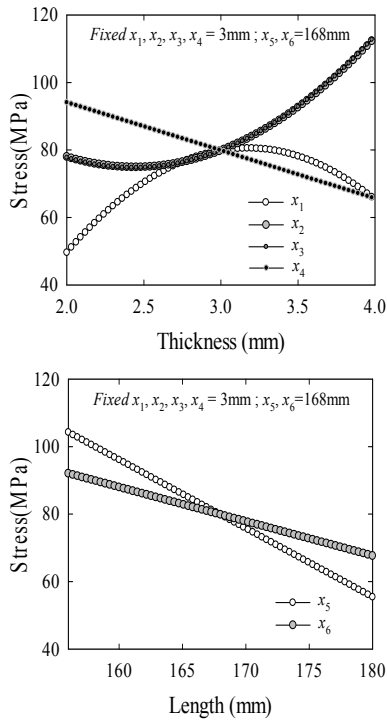


Fig. 5 Stress in accordance with design variables

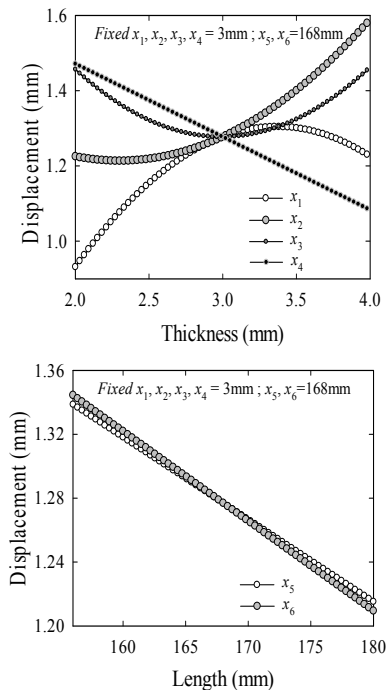


Fig. 6 Displacement in accordance with design variables

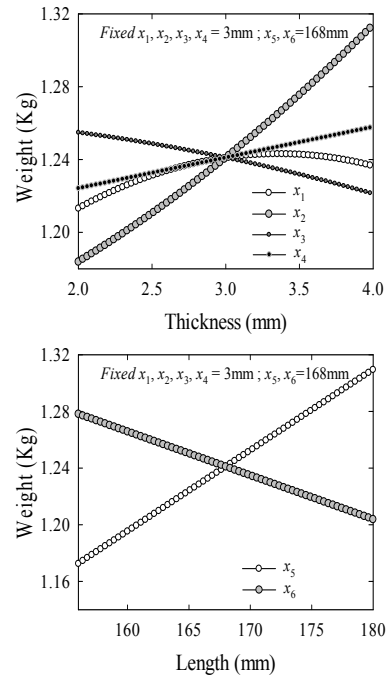


Fig. 7 Weight in accordance with design variables

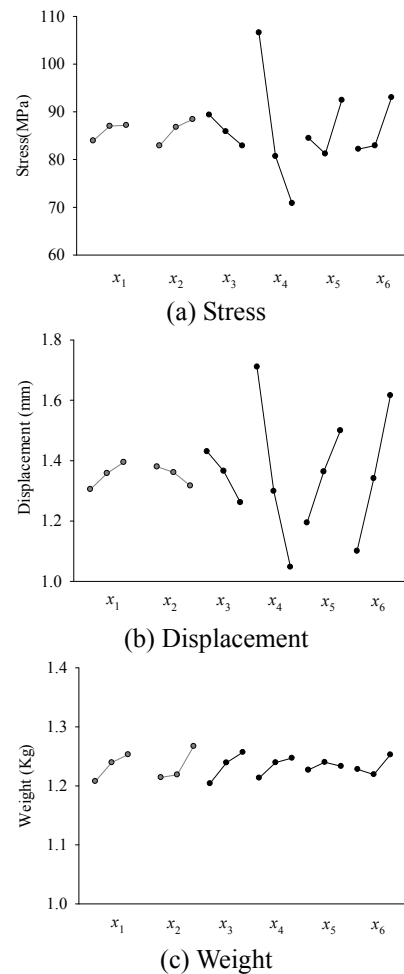


Fig. 8 ANOM of design variables

수에 대한 파라미터 분석을 Fig. 5-7 에 나타내었다.

4.3 평균 분석(ANOM)

선정한 설계변수 변화에 따른 성능지수에 대한 민감도를 알아보기 위해 평균분석을 수행하였다. 이는 응력, 처짐, 중량에 대해 수준 변화에 따른 기울기를 통하여 민감도 경향성을 알 수 있다. 이를 통해 x_1, x_2 가 성능지수 변동에 미치는 영향이 미비하여 설계변수 4 개(x_3, x_4, x_5, x_6)만 사용하여 최적설계 문제를 재정식화 시켰다. 또한, x_1, x_2 는 중량을 감소시키기 위해 기존 3mm 에서 2mm 로 고정하여 유한요소해석 및 최적화를 수행하였다. 각 성능지수에 대한 평균분석을 Fig. 8 에 나타내었다.

5. 근사모델

5.1 중심합성계획법(CCD)

심플렉스 계획법 또는 2^k 요인 배치법으로 회귀 계수를 추정할 수가 없다. 2^k 요인 실험에서는 각 변수의 두 수준에서만 실험이 되므로, 변수의 수준 변화에 따라서 발생하는 성능지수의 곡면적인 변화를 감지할 수 없다. 이런 단점을 보완하고 적은 횟수의 시험으로 곡면을 추정하기 위하여 요인 배치에 중심점과 축점을 추가시켜 실험계획을 수립한다. 식 (1)에서 중심점 n_0 의 수는 제한 없이 하나 이상이며, 축점의 수는 $2k$ 가 된다.

본 연구에서는 중심합성법을 사용하여 Table 4 와

Table 4 Central composite design

No.	x_3	x_4	x_5	x_6	σ (MPa)	Dis(mm)	w(Kg)
1	2	2	156	156	104.8	1.310	1.139
2	2	2	156	180	100.9	1.904	1.157
3	2	2	180	156	95.15	1.669	1.157
4	2	2	180	180	113.6	2.460	1.175
5	2	4	156	156	54.03	0.775	1.189
6	2	4	156	180	62.20	1.115	1.217
7	2	4	180	156	59.19	1.013	1.207
8	2	4	180	180	69.40	1.448	1.235
9	4	2	156	156	78.76	1.159	1.166
10	4	2	156	180	92.94	1.671	1.189
11	4	2	180	156	88.01	1.507	1.184
12	4	2	180	180	104.3	2.161	1.207
13	4	4	156	156	51.11	0.729	1.213
14	4	4	156	180	58.98	1.030	1.247
15	4	4	180	156	56.81	0.956	1.231
16	4	4	180	180	65.52	1.339	1.265
17	1	3	168	168	69.70	1.429	1.171
18	5	3	168	168	60.24	1.189	1.227
19	3	1	168	168	188.2	2.666	1.145
20	3	5	168	168	81.68	1.089	1.161
21	3	3	144	168	63.37	0.969	1.182
22	3	3	192	168	72.66	1.641	1.217
23	3	3	168	144	57.83	0.873	1.173
24	3	3	168	192	77.92	1.819	1.225
25	3	3	168	168	70.81	1.279	1.199

같이 전산 시험을 수행하고 이를 통해 얻은 데이터들을 바탕으로 통계 프로그램 SAS 9.4⁽¹²⁾를 이용하여 2 차 반응표면모델을 생성하였으며, R^2 값을 통해 정확성을 평가하였다.

$$N = 2^k + 2k + n_0 \quad (1)$$

$$g_{Stress} = -71.8688 - 23.9254x_3 - 111.306x_4 + 1.708507x_5 + 2.199063x_6 - 2.37146x_3^2 + 2.3775x_4x_3 + 15.12104x_4^2 + 0.090833x_5x_3 + 0.004896x_5x_4 - 0.01118x_5^2 + 0.073542x_6x_3 - 0.0524x_6x_4 + 0.011866x_6x_5 - 0.01143x_6^2$$

$$f_{Dis} = -1.122546 + 0.222483x_3 + 0.231258x_4 + 0.000542x_5 - 0.007547x_6 - 0.004003x_3^2 + 0.034219x_4x_3 + 0.138122x_4^2 - 0.000583x_5x_3 - 0.003365x_5x_4 - 0.00003492x_5^2 - 0.001612x_6x_3 - 0.005686x_6x_4 + 0.000224x_6x_5 + 0.00003661x_6^2$$

$$f_{Weight} = 0.941252 - 0.003876x_3 - 0.009353x_4 + 0.000733x_5 + 0.000014688x_6 - 0.00009792x_3^2 - 0.000674x_4x_3 + 0.000003958x_4^2 - 0.000003021x_5x_3 - 0.000003125x_5x_4 - 0.0000000679977x_5^2 + 0.000122x_6x_3 - 0.00023x_6x_4 + 0.0000000243x_6x_5 - 0.0000000679977x_6^2$$

5.2 D-최적 계획법

2 차 회귀모델 계수를 산출하기 위한 과정에서 $X^T X$ 행렬의 역행렬을 구하게 되는데, 이 때 $X^T X$ 의 행렬식(determinant)을 최대로 하는 실험점 조합 행렬 X 를 찾는 것을 D-최적 계획법 이라고 한다. 이는 설계변수 상/하한 범위 내에서 임의로 불규칙한 실험점 조합을 선택하고 이 때의 실험점 조합은 $X^T X$ 의 행렬식이 최대가 되는 조합으로서 실험 횟수를 중심합성계획법 보다 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 CCD 와 D-최적 계획법을 비교하기 위해 NSGA-II 유전알고리즘을 이용하여 $X^T X$ 의 행렬식이 최대가 되는 25 개의 실험조합을 추출하여 전산실험을 수행하였다.

$$g_{Stress} = -183.418 - 7.93006x_3 - 44.6681x_4 + 0.785079x_5 + 2.556646x_6 + 2.69444x_3^2 + 0.58725x_4x_3 + 3.369417x_4^2 - 0.02887x_5x_3 - 0.16188x_5x_4 - 0.00196x_5^2 - 0.04383x_6x_3 + 0.21878x_6x_4 + 0.005954x_6x_5 - 0.01073x_6^2 \quad (R^2 = 0.9501)$$

$$f_{Dis} = 1.022815 + 0.297166x_3 + 0.954725x_4 - 0.00754x_5 - 0.04482x_6 + 0.031389x_3^2 + 0.024774x_4x_3 + 0.109587x_4^2 - 0.00148x_5x_3 - 0.00522x_5x_4 - 6.44e - 5x_5^2 - 0.00215x_6x_3 - 0.00653x_6x_4 + 0.000137x_6x_5 + 0.00021x_6^2 \quad (R^2 = 0.9993)$$

$$f_{Weight} = 0.92978 - 0.0047x_3 - 0.010026x_4 + 0.000719x_5 + 0.000195x_6 - 3.0824e^{-5}x_3^2 - 0.000622x_4x_3 + 0.000001787x_4^2 + 0.000002041x_5x_3 + 2.664e^{-6}x_5x_4 + 6.49e^{-9}x_5^2 + 0.000122x_6x_3 - 0.000227x_6x_4 - 7.75e^{-9}x_6x_5 - 4.64e^{-7}x_6^2 \quad (R^2 = 1)$$

위 2 차 반응표면모델 정확도를 도식적으로 평가하기 위해 CCD 와 D-최적계획법에서 수행한 유한요소해석 결과와 2 차 근사모델을 통해 예측한 결과를 비교하였으며 각 성능지수에 대해 생성한 R² 값을 Fig. 9 에 나타내었다.

6. 다중목적 근사최적화

6.1 다중목적 유전알고리즘 (NSGA-II)

다중목적 함수의 최적화를 위해 NSGA-II 를 이용하여 최적화를 수행하였다. 다중목적 함수에 제한조건 함수에 대한 외적 벌칙함수(exterior penalty function)를 적용하여 최적화를 수행하였으며, 인구수와 세대수는 각각 100, 300 으로 설정하였다. CCD 와 D-최적 계획법을 사용하여 생성한 근사함수를 이용해 얻은 파레토 최적해 집합을 각각 Fig.

10, 11 에 나타내었다. 또한, 파레토 최적해 집합은 최적설계 조건을 만족하는 해들의 집합으로 모든 최적해에서 검증을 수행하여야 하나 유한요소해석의 전후 처리에 많은 시간이 소요되어 무작위로 최적해 한 점을 추출하여 유한요소해석을 통해 검증한 값을 Table 5 에 나타내었다. 이를 통해 최적해가 목적함수와 제한조건을 만족함을 알 수 있었다. 응력 근사함수의 R² 값이 상대적으로 낮아 제한조건 근사함수의 해와 유한요소해석 결과가 상이함을 보였다. 최적해에 대한 목적함수가 기존 모델에 비해 감소한 것을 알 수 있었다.

Table 5 Validations of NSGA-II and FEM

Obj. / Con. Function	CCD		Initial
	NSGA-II	FEM	
$f_1(w, [Kg])$	1.22294	1.22288	1.24100
$f_2(Dis. [mm])$	0.97540	0.99270	1.27700
$g_1(\sigma [MPa])$	54.840	59.140	79.830
$g_2(L [mm])$	336.02	336.02	336.00
Obj. / Con. Function	D-optimal		Initial
	NSGA-II	FEM	
$f_1(w, [Kg])$	1.22470	1.22460	1.24100
$f_2(Dis. [mm])$	1.13220	1.13200	1.27700
$g_1(\sigma [MPa])$	69.850	72.390	79.830
$g_2(L [mm])$	336.00	336.00	336.00

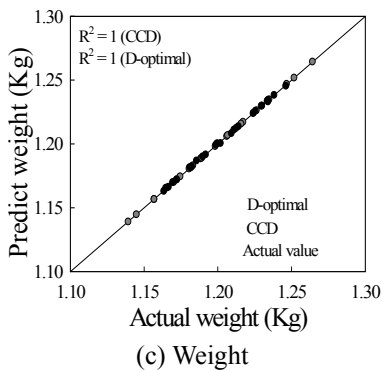
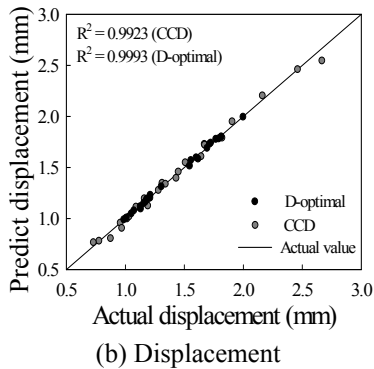
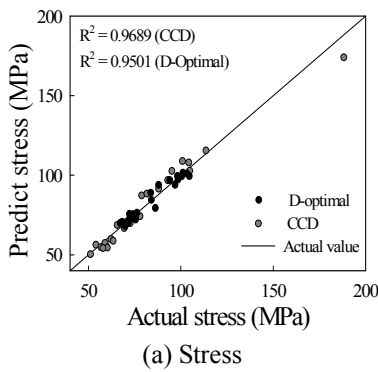


Fig. 9 Accuracy of RSM (CCD & D-optimal)

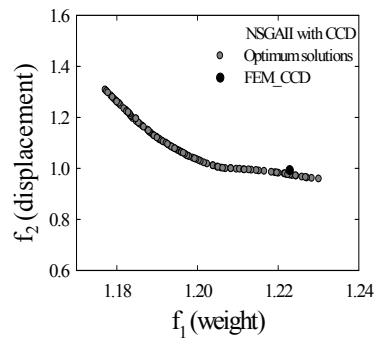


Fig. 10 Pareto solution of NSGA-II (CCD)

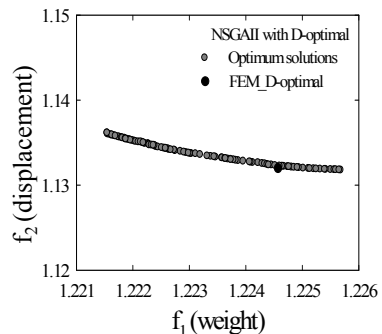


Fig. 11 Pareto solution of NSGA-II (D-optimal)

두 실험계획을 통해 생성한 근사 모델을 이용하여 산출된 최적해의 결과는 CCD 를 적용한 경우에 상대적으로 좋은 최적해를 얻을 수 있었다. 일반적으로 수준에 따른 성능지수 변화가 2 차 다항식 형태로 표현하기 위해서 적절한 실험점 추출이 필요하며 CCD 가 적합한 실험계획으로 알려져 있다. 설계영역에서 전역적인 실험점 추출을 통해 성능지수에 대한 근사모델을 생성하였기 때문에 상대적으로 D-최적계획법 보다 목적함수가 더 낮은 최적해를 산출한 것으로 판단된다. D-최적계획법 같은 경우는 전역적인 실험점 추출보다는 $X^T X$ 행렬식이 최대가 되는 실험점을 추출하기 때문에 설계영역에서 국부적인 실험점을 추출할 경우가 있으며 이는 실험 횟수 및 실험 케이스가 많을 때 감소시켜주는 목적으로 적용되며 본 연구에서는 두 실험계획을 이용하여 동일한 실험횟수에 대한 근사모델생성의 타당성을 비교하였다.

7. 결 론

본 연구를 통해 다중목적 함수를 가진 벽걸이 모니터 브라켓 암 근사최적설계를 수행하였다. 반응표면모델 생성을 위한 실험계획으로 중심합성계획법과 D-최적 계획법을 사용하였다. CCD 를 이용한 근사 최적해는 D-최적 계획법을 사용한 최적해 보다 전역적인 근사 최적해를 산출하였으나 D-최적 계획법은 국부적인 근사 최적해를 산출하는 것을 알 수 있었다. 이는 $X^T X$ 의 행렬식을 최대로 하는 방향으로 불규칙한 실험 조합을 도출하기 때문에 설계영역 내의 목적함수 및 제한조건을 만족하는 최적해의 영역이 국부적인 것을 알 수 있었다. 또한, D-최적 계획법 보다 CCD 에 의한 실험계획이 정확하고 전역적인 반응표면을 생성하는 것을 확인하였다. 향후 연구에서는 응력 근사함수에 대한 R^2 값을 개선하는 방법으로 내삽법(interpolation)을 이용한 인공신경망(Artificial Neural Network), 크리깅(Kriging) 근사기법 등 블랙박스 형태의 근사모델을 적용하여 성능지수에 대한 근사모델을 개선하고 이를 통한 최적해를 비교한다.

참고문헌

(References)

- (1) Jung, S. and Kim, M., 2014, "Robust Rear Center-Hinge Bracket Optimization Based on Taguchi Method," *Trans. Korean Soc. Auto. Eng.*, Vol. 22, No. 3, pp. 203~209.
- (2) Han, P.K. and Lee, J., 2009, A Response Surface Based Sequential Approximate Optimization Using Constraint-Shifting Analogy, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 23, pp. 1911~1923
- (3) Fowlkes, William Y., 1995, "Engineering Methods for Robust Product Design," Addison-Wesley, pp. 211~220.
- (4) Park, S. H., 1995, "Modern Design of Experiments," Minyongsa, pp. 453~504.
- (5) Triefenbach, F., 2008, "Design of Experiments: The D-optimal Approach and Its Implementation As a Computer Algorithm," Degree Thesis, Department of Computing Science, Umea University, Sweden.
- (6) Hong, K. J., Jeon, K. K., Cho, Y. S., Choi, D. H. and Lee, S. J., 2000, "A Study on the Construction of Response Surface for Design Optimization," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol.24, No. 6, pp. 1408~1418.
- (7) Deb K., Pratap A., Agarwal S. and Meyarivan T., 2002, "A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 6, No. 2, pp. 182~197.
- (8) HyperMesh User Guide, Version 11.0 2010, Altair Engineering Inc., Troy, MI.
- (9) ABAQUS User's Manual Version 6.12, 2012, Dassault Systemes Simulia, Inc., Providence, RI.
- (10) Lee, J. and Ahn, B., 2006, "DOE Based Robust Optimization Considering Tolerance Bands of Design Parameters," *JSME Series C*, Vol. 49, No. 4, pp. 1223~1231.
- (11) Nam, H., 2005, "Six Sigma Robust Design of Composite Hand for LCD Glass Transfer Robot," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 29, No. 3, pp. 455~451.
- (12) SAS user's manual version 9.4, 2013. SAS Institute Cary, NC.