

Pre-Polymer 중합로의 형상최적화 설계

Geometry Optimization of Pre-Polymer Reacting Unit

*장민규¹, 최종현², 정영득², 하면경², #곽재섭²

*M. K. Jang¹, J. H. Choi², Y. D. Jeong², M. K. Ha², #J. S. Kwak(jskwak5@pknu.ac.kr)²

¹부경대학교 대학원, ²부경대학교 기계공학부

Key words : Pre-polymer reacting unit, Geometry optimization, Design of experiment

1. 서론

우레탄 결합체의 충칭인 폴리우레탄은 현재 우리 생활 전반의 걸쳐서 다양한 형태로 사용되고 있다. 건설용 방수자재에서부터 의복용 소재에 이르기 까지 널리 이용되고 있으며, 특히, 폴리이소시아네이트와 폴리올의 초기중합생성물인 폴리우레탄 올리고머는 경화제, 수분 등과 반응하여 고분자량의 폴리우레탄 수지나 탄성체가 되어 접착제, 피복제, 코킹(caulking) 및 실런트(sealant) 등으로 사용되고 있다.⁽¹⁾

또한 폴리우레탄 올리고머인 Pre-polymer는 현재 의료용 재료로도 범용되고 있는데 특히 석고용 깁스의 대체 제품으로서 점차 널리 사용되고 있는 실정이다. 이러한 의료용 Pre-polymer 소비의 증가에 따라 대용량의 수지를 제조 할 수 있는 대형 중합로의 개발이 필요해 졌다. 특히, 의료용 Pre-polymer 수지의 중합을 위해서는 적절한 온도를 제어 할 수 있는 시스템을 포함해야 한다. 본 연구에서는 이러한 중합로의 설계에 FEA를 이용하여 구조해석을 수행하고 실험계획법을 통한 내부 및 외부 탱크의 두께 파라메타의 최적화를 수행하였다.

2. 이론적 배경

유한요소해석에 있어 선형구조해석은 정적하중의 작용 하에서 구조물의 응답을 얻는 과정이다.

일반적인 운동방정식은 아래의 식(1)과 같다.

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\} \quad (1)$$

여기서 [M]은 질량 매트릭스, [C]는 댐핑 매트릭스, [K]는 강성 매트릭스, {x}는 변위벡터, {F}는 하중벡터를 나타낸다. 정적해석에서는 시간을 고려한 항들이 무시되므로 다음 식(2)와 같게 된다.

$$[K]\{x\} = \{F(t)\} \quad (2)$$

위의 식은 다음과 같은 가정을 포함한다. [K]는 강성 매트릭스로서 선형탄성재료거동과 소변형이 일어나는 것으로 가정한다. {F}는 정적인 적용하중으로서 시간 변동하중은 고려되지 않으며, 관성의 영향(질량, 댐핑)은 무시된다.

열변형에 적용되는 일반적 열절단식은 아래의 식(3)과 같다.

$$[C(t)]\{\dot{T}\} + [K(T)]\{T\} = \{Q(t, T)\} \quad (3)$$

여기서 t는 시간, [C]는 비열 매트릭스, [K]는 전도 매트릭스, {T}는 온도, {Q}는 Heat flow rate load vector를 나타낸다.

정적해석에서 모든 시간의존성은 제거되므로 식 (3)은 다음의 식 (4)와 같이 나타난다.

$$[K(T)]\{T\} = \{Q(T)\} \quad (4)$$

위 식 (4)는 다음과 같은 가정을 포함한다. 정적해석에서의 시간의 영향을 받지 않으며, [K]와 {Q}는 상수이거나 온도의

함수가 된다.⁽²⁾

3. 유한요소해석 및 최적화

Pre-polymer수지의 중합을 위한 중합로를 Fig. 1과 같이 개략적으로 설계하였다. 중합로는 안쪽 탱크와 바깥쪽 탱크로 이루어진 이중 구조이다. 이것은 중합과정 중 수지의 반응 온도를 상승시키기 위하여 물을 이용한 중탕방식을 사용하기 때문이다. 그리고 중합로 내부의 효율적인 세척을 위하여 두 개의 기둥에 중합로 탱크가 지지되어 있는 형상을 하고 있다.

본 연구에서는 중합로 탱크부위의 구조해석 및 열전달 해석을 통한 형상 최적화를 위해 Fig. 2와 같이 형상모델링을 하였다. 이때 중합로 안쪽 탱크와 바깥쪽 탱크의 직경을 총 중량 300kg에 맞추기 위하여 Table 1과 같이 결정하였다. 또한 두께는 3mm로 결정하였다. Table 2에 나타난 조건과 같이 내부 탱크의 안쪽면에 압력이 지속적으로 작용하고 있으며 Mesh는 0.01m로 결정하였다. Element수는 138210개 이다. 재료의 재질은 중합로 전체에 Stainless steel을 적용하여 해석을 수행하였다. 해석의 편의를 위하여 세로축을 기준으로 Symmetry를 적용하였다.

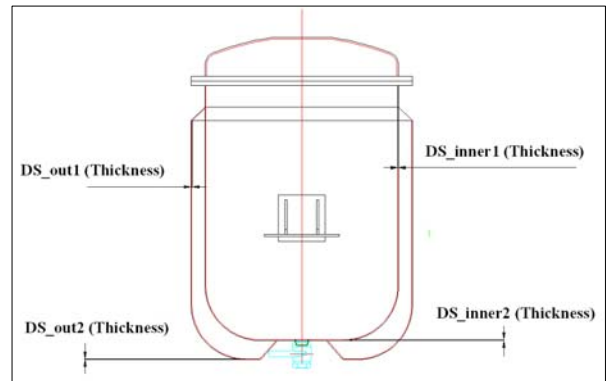


Fig. 1 Geometry parameter for design of experiment

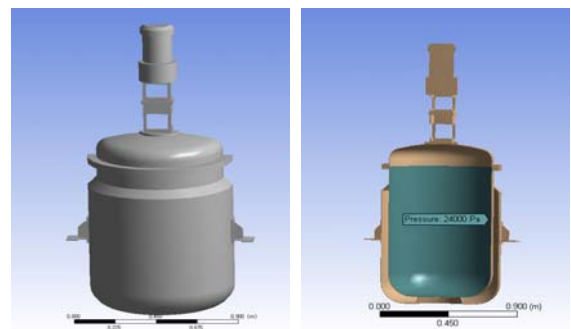


Fig. 2 Designed reacting unit and boundary conditions

Table 1 Fundamental dimension of reacting unit

	Dimensions(mm)
Inside tank	700mm
Outside tank	800mm
Thickness	3mm

Table 2 Specification of boundary conditions

Mass	136.78 kg
Material	Stainless steel
Young's Modulus	1.93×10^{11} Pa
Poisson's Ratio	0.31
Density	7750kg/m ³
Pressure	24000Pa
Symmetry	x-z plan
Mesh size	0.01m
curv/proximity	20

Table 3 Parameter range for reacting unit

Name	Initial value	Upper bound	Lower bound
DS_inner1	3.0mm	3.6mm	2.4mm
DS_inner2	3.0mm	3.6mm	2.4mm
DS_out1	3.0mm	3.6mm	2.4mm
DS_out2	3.0mm	3.6mm	2.4mm

Table 4 Design of experiments (25th)

No.	Factor			
	inner1	inner2	out1	out2
1	3	3	3	3
2	2.4	3	3	3
3	3.6	3	3	3
4	3	2.4	3	3
5	3	3.6	3	3
6	3	3	2.4	3
7	3	3	3.6	3
8	3	3	3	2.4
9	3	3	3	3.6
10	2.5775	2.5775	2.5775	2.5775
11	3.4225	2.5775	2.5775	2.5775
12	2.5775	3.4225	2.5775	2.5775
13	3.4225	3.4225	2.5775	2.5775
14	2.5775	2.5775	3.4225	2.5775
15	3.4225	2.5775	3.4225	2.5775
16	2.5775	3.4225	3.4225	2.5775
17	3.4225	3.4225	3.4225	2.5775
18	2.5775	2.5775	2.5775	3.4225
19	3.4225	2.5775	2.5775	3.4225
20	2.5775	3.4225	2.5775	3.4225
21	3.4225	3.4225	2.5775	3.4225
22	2.5775	2.5775	3.4225	3.4225
23	3.4225	2.5775	3.4225	3.4225
24	2.5775	3.4225	3.4225	3.4225
25	3.4225	3.4225	3.4225	3.4225

우선 중합로 형상 최적화 Parameter는 Fig. 1에 주어진 것과 같이 중합로의 안쪽 탱크(DS_inner1, DS_inner2)의 옆면, 아랫면 두께와 바깥 쪽 탱크(DS_out1, DS_out2)의 옆면, 아랫면 두 종류로 선택하였다. 각 Parameter에 대한 Range는 Table 3에 나타난 것과 같이 3.0mm를 기준으로 20%의 범위로 실험계획법에 레벨을 적용하였다. 형상 최적화를 위한 실험계획법은 Table 4에 따라 25회의 FEM 해석이 수행되었다. 해석의 결과는 Maximum equivalent stress, Total deformation, Life minimum, Safety factor minimum, Temperature maximum로 나타내어 이들 값이 최적화 되는 Geometry 값을 목표 값에 따라 결정 되었다. 결정된 최적 두께는 Table 5에 나타난 것과 같다. 결과적으로 내부 두께가 약 3.4mm일 때 가장 목표에 근접하는 것을 알 수 있었다.

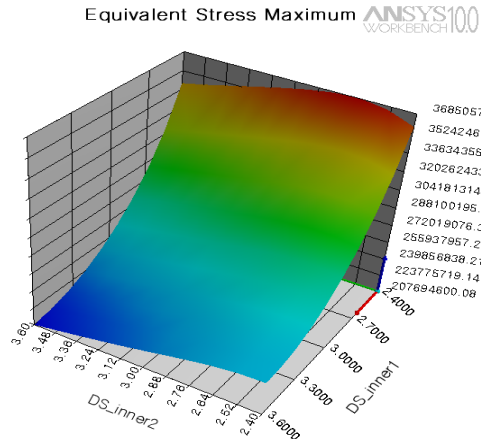


Fig. 3 Response surface for equivalent stress

Table 5 Optimized parameter values

Items	Conditions
DS_inner1	3.4531mm
DS_inner2	3.4607mm
DS_out1	2.4151mm
DS_out2	2.4113mm
Maximum equivalent stress	270720000Pa
Total deformation	0.0060162m
Life minimum	6102.8cycle
Safety factor minimum	0.90462
Temperature maximum	43.118℃

Fig. 3은 반응표면기법을 이용한 equivalent stress 최적화 결과를 보여주고 있다. Table 5는 탱크의 두께가 얇고 Maximum equivalent stress, Total deformation이 작으며, Life minimum, Safety factor minimum, Temperature maximum이 높은 최적의 조건의 조합을 나타내고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 대형 중합로의 내·외부 탱크의 두께의 최적 설계를 위하여 유한요소해석 기법을 이용하였으며, 최적화 기법으로 실험계획법을 적용하여 25th의 해석을 수행하였다. 그 결과 내부 탱크의 두께가 3.4mm이고 외부 탱크가 2.4mm일 때 270720000Pa의 Maximum equivalent stress, 0.0060162m의 Total deformation, 6102.8cycle의 Life minimum, 0.90462의 Safety factor minimum, 43.118℃의 Temperature maximum으로 최적의 결과값을 얻을 수 있었다. 이 값은 탱크의 두께가 얇고 Maximum equivalent stress, Total deformation이 작으며, Life minimum, Safety factor minimum, Temperature maximum이 높은 최적의 조건의 조합을 나타낸다.

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업 (과제명: Pre-polymer 중합설비 설계 및 시스템 최적화기술 개발, 과제번호: 20070130134117)으로 수행된 연구 결과임.

참고문헌

1. Kim, H. L. and Choe, S. J., "The Role of EO-PO Prepolymers in Polyurethane used in Medical Casting Tape," Journal of Korean Institute of Chemical Engineers, 11(5), 62-68, 2000.
2. Kim, D. K. and Kim, J. H., "A Study on Structural Analysis of Globe Valve for LNG Carrier," Journal of Korean Society of Marine Engineering, 31(8), 1013-1019, 2007.