



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0151638
(43) 공개일자 2022년11월15일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 <i>B21D 11/20</i> (2006.01) <i>B21D 11/22</i> (2006.01)
 <i>B21D 37/16</i> (2006.01) <i>G06F 30/23</i> (2020.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 <i>B21D 11/20</i> (2013.01)
 <i>B21D 11/22</i> (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2022-7034181
 (22) 출원일자(국제) 2021년03월08일
 심사청구일자 없음
 (85) 번역문제출일자 2022년09월30일
 (86) 국제출원번호 PCT/JP2021/009013
 (87) 국제공개번호 WO 2021/182401
 국제공개일자 2021년09월16일
 (30) 우선권주장 JP-P-2020-039947 2020년03월09일 일본(JP)</p> | <p>(71) 출원인
 교우리츠 다이가꾸 호우진 오사카
 일본 545-0051 오사카 오사카시 아베노쿠 아사히
 마치 1초메 2-7-601</p> <p>(72) 발명자
 시바하라, 마사카즈
 일본 오사카 5998531 사카이시 나카구 가쿠엔초
 1-1 오사카 프리팩처 유니버시티 내
 이쿠시마, 카즈키
 일본 오사카 5998531 사카이시 나카구 가쿠엔초
 1-1 오사카 프리팩처 유니버시티 내
 (뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
 특허법인한성</p> |
|--|--|

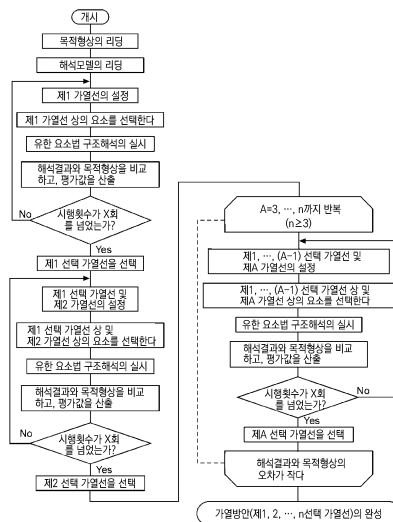
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **선상 가열에 의한 금속판의 굽힘 가공에 사용하는 가열방안의 산출방법**

(57) 요약

본 발명의 산출방법은 제1 가열선을 포함하는 제1 가열조건으로 구조 해석을 실시하고, 이 해석결과와 목적형상을 비교하는 제1 시행을 반복하는 제1 스텝과, 반복한 제1 시행 가운데 해석결과가 목적형상에 근접한 제1 시행에서 설정한 제1 가열선을 제1 선택 가열선으로 선택하는 제2 스텝과, 제1 선택 가열선과 제2 가열선을 포함하는 제2 가열조건으로 구조 해석을 실시하고, 이 해석결과와 목적형상을 비교하는 제2 시행을 반복하는 제3 스텝과, 반복한 제2 시행 가운데 해석결과가 목적형상에 근접한 제2 시행에서 설정한 제2 가열선을 제2 선택 가열선으로 선택하는 제4 스텝을 구비하고, 제1 또는 제3 스텝에서, 상기 해석결과 및 상기 목적형상을 복수의 블록으로 분할해서, 각 블록마다 상기 해석결과와 상기 목적형상을 비교하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B21D 37/16 (2013.01)

G06F 30/23 (2020.01)

(72) 발명자

마에카와, 마나미

일본 오사카 5998531 사카이시 나카구 가쿠엔초
1-1 오사카 프리팩처 유니버시티 내

아시다, 료

일본 오사카 5998531 사카이시 나카구 가쿠엔초
1-1 오사카 프리팩처 유니버시티 내

하시즈메, 히카루

일본 오사카 5998531 사카이시 나카구 가쿠엔초
1-1 오사카 프리팩처 유니버시티 내

키타니, 유지

일본 오사카 5998531 사카이시 나카구 가쿠엔초
1-1 오사카 프리팩처 유니버시티 내

야마다, 유스케

일본 오사카 5998531 사카이시 나카구 가쿠엔초
1-1 오사카 프리팩처 유니버시티 내

카토, 타쿠야

일본 오사카 5998531 사카이시 나카구 가쿠엔초
1-1 오사카 프리팩처 유니버시티 내

명세서

청구범위

청구항 1

선상 가열에 의한 금속판의 굽힘 가공에 사용하는 가열방안의 산출방법으로서,

상기 금속판의 해석모델의 제1 위치에 설정한 적어도 1개의 제1 가열선을 포함하는 제1 가열조건으로 유한 요소법 구조 해석을 실시하고, 이 해석결과와 목적형상을 비교하는 제1 시행을 제1 가열선의 위치를 바꾸어서 반복하는 제1 스텝과,

반복한 제1 시행 가운데 해석결과가 목적형상에 근접한 제1 시행에서 설정한 적어도 1개의 제1 가열선을 제1 선택 가열선으로 선택하는 제2 스텝과,

제1 선택 가열선과, 상기 해석모델의 제2 위치에 설정한 적어도 1개의 제2 가열선을 포함하는 제2 가열조건으로 유한 요소법 구조 해석을 실시하고, 이 해석결과와 목적형상을 비교하는 제2 시행을 제2 가열선의 위치를 바꾸어서 반복하는 제3 스텝과,

반복한 제2 시행 가운데 해석결과가 목적형상에 근접한 제2 시행에서 설정한 적어도 1개의 제2 가열선을 제2 선택 가열선으로 선택하는 제4 스텝을 구비하고,

상기 가열방안은 제1 및 제2 선택 가열선을 포함하고,

제1 또는 제3 스텝에서, 상기 해석결과 및 상기 목적형상을 복수의 블록으로 분할해서, 각 블록마다 상기 해석결과와 상기 목적형상을 비교하는 것을 특징으로 하는 산출방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 해석모델은 복수의 요소 및 복수의 절점을 가지는 한정요소 모델이고,

제1 또는 제3 스텝에서, 상기 해석결과는 상기 절점에서의 변위량 및 곡률의 양쪽을 사용해서 상기 목적형상과 비교되는 산출방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 해석모델은 복수의 요소 및 복수의 절점을 가지는 한정요소 모델이고,

제1 스텝에서, 상기 해석결과는 상기 절점에서의 변위량을 사용해서 상기 목적형상과 비교되고,

제3 스텝에서, 상기 해석결과는 상기 절점에서의 곡률 및 변위량의 양쪽을 사용해서 상기 목적형상과 비교되는 산출방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 해석모델은 복수의 요소 및 복수의 절점을 가지는 한정요소 모델이고,

제1 스텝에서, 상기 해석결과는 상기 절점에서의 곡률 및 변위량 중 한쪽을 사용해서 상기 목적형상과 비교되고,

제3 스텝에서, 상기 해석결과는 상기 절점에서의 곡률 및 변위량 중 다른 쪽을 사용해서 상기 목적형상과 비교되는 산출방법.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 해석모델은 복수의 요소 및 복수의 절점을 가지는 한정요소 모델이고,

상기 목적형상이 양의 곡률 및 음의 곡률 중 어느 한쪽을 가지는 형상인 경우, 제1 및 제3 스텝에서, 상기 해석 결과는 상기 절점에서의 곡률을 사용해서 상기 목적형상과 비교되고,

상기 목적형상이 양의 곡률 및 음의 곡률의 양쪽을 가지는 형상인 경우, 제1 및 제3 스텝에서, 상기 해석결과는 상기 절점에서의 변위량을 사용해서 상기 목적형상과 비교되는 산출방법.

청구항 6

제1 항 내지 제5 항 중 어느 한 항에 있어서,

제1 또는 제3 스텝에서, 상기 각 블록마다의 상기 해석결과와 상기 목적형상의 비교와, 상기 해석모델 전체에서의 상기 해석결과와 상기 목적형상의 비교의 양쪽을 실시하는 산출방법.

청구항 7

제1 항 내지 제6 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 금속판은 표면 및 이면을 가지고,

제1 가열조건에서는 제1 가열선은 상기 표면 및 상기 이면 중 어느 한쪽에 설정되고,

제2 가열조건에서는 제2 가열선은 상기 표면 및 상기 이면 중 어느 한쪽에 설정되고,

제4 스텝은 반복한 제2 시행 가운데 해석결과가 목적형상에 근접한 제2 시행에서 설정한 적어도 1개의 제2 가열선을 복수 선택하고, 선택한 복수의 제2 가열선 가운데, 제1 선택 가열선이 설정된 면과 동일한 면에 설정된 제2 가열선을 제2 선택 가열선으로 선택하는 스텝인 산출방법.

청구항 8

제1 항 내지 제7 항 중 어느 한 항에 있어서,

제4 스텝은 반복한 제2 시행 가운데 해석결과가 목적형상에 근접한 제2 시행에서 설정한 적어도 1개의 제2 가열선을 복수 선택하고, 선택한 복수의 제2 가열선 가운데 굽힘량이 작은 제2 가열선을 제2 선택 가열선으로 선택하는 스텝인 산출방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 선상 가열에 의한 금속판의 굽힘 가공에 사용하는 가열방안의 산출방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 선박에는 선수부나 구상선수, 선미부 등에 복잡한 곡면형상이 존재한다. 이것들의 곡면형상을 작성하기 위해서 복수의 강관에 대하여 굽힘 가공을 실시하고, 그것들을 용접에 의해 접합한다. 굽힘 가공의 기술로서 조선 분야에서는 선상 가열이 널리 사용되고 있다.

[0003] 선상 가열이란 강관의 표면을 가스버너로 가열했을 때에 발생하는 열변형을 이용하는 것으로, 현재 국내의 많은 조선소에서 예전부터 채용되고 있는 기술이다. 선상 가열에 의해 강관의 굽힘 가공을 실시할 때, 가스버너의 불꽃으로 강관을 국소적으로 가열하면서, 강관에 물을 뿌리는 것에 의해 가열부를 급냉각시키면, 강관에 소성 변형이 발생한다. 이 소성 변형은 가열하는 가스버너의 이동속도, 연소 가스와 유입산소와 혼합비, 버너와 강관의 거리 등을 변화시켜서 강관으로의 입열을 조정하는 것에 의해 제어할 수 있다. 또, 선상 가열에 의한 굽힘 가공은 복수의 가열선을 적당한 위치에 배치하는 것에 의해서, 강관을 소망하는 곡면형상에 근접시키는 가공기술이다.

[0004] 그러나, 선상 가열 시에 발생하는 변형은 종 수축·횡 수축, 세로 휨·가로 휨이 혼재하는 복잡한 것으로, 입열량이나 가스버너의 이동속도, 가열 위치 등에도 의존하기 때문에 예측이 매우 곤란하다는 점에서 선상 가열에

의한 굽힘 가공은 자동화가 곤란하다고 여겨지는 기술의 하나이다.

[0005] 선상 가열에 의한 굽힘 가공의 자동화를 실현시키기 위해서 사용하는 가열방안 산출방법이 제안되고 있다(예를 들면, 특허문헌 1 참조).

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 2013-66902호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 종래의 가열방안 산출방법에서는 목적형상으로부터 산출한 목적 고유 변형에 의거해서 가열방안을 산출하기 때문에, 가열선이 밀집한 부분에서는 복잡한 보정을 할 필요가 있다.

[0008] 본 발명은 이러한 사정을 고려하여 이루어진 것으로, 금속판을 목적형상에 근접시키기 위한 최적의 복수의 가열선을 포함하는 가열방안을 산출할 수 있는 산출방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명은 선상 가열에 의한 금속판의 굽힘 가공에 사용하는 가열방안의 산출방법으로서, 상기 금속판의 해석모델의 제1 위치에 설정한 적어도 1개의 제1 가열선을 포함하는 제1 가열조건으로 유한 요소법 구조 해석을 실시하고, 이 해석결과와 목적형상을 비교하는 제1 시행을 제1 가열선의 위치를 바꾸어서 반복하는 제1 스텝과, 반복한 제1 시행 가운데 해석결과가 목적형상에 근접한 제1 시행에서 설정한 적어도 1개의 제1 가열선을 제1 선택 가열선으로 선택하는 제2 스텝과, 제1 선택 가열선과, 상기 해석모델의 제2 위치에 설정한 적어도 1개의 제2 가열선을 포함하는 제2 가열조건으로 유한 요소법 구조 해석을 실시하고, 이 해석결과와 목적형상을 비교하는 제2 시행을 제2 가열선의 위치를 바꾸어서 반복하는 제3 스텝과, 반복한 제2 시행 가운데 해석결과가 목적형상에 근접한 제2 시행에서 설정한 적어도 1개의 제2 가열선을 제2 선택 가열선으로 선택하는 제4 스텝을 구비하고, 상기 가열방안은 제1 및 제2 선택 가열선을 포함하고, 제1 또는 제3 스텝에서, 상기 해석결과 및 상기 목적형상을 복수의 블록으로 분할해서, 각 블록마다 상기 해석결과와 상기 목적형상을 비교하는 것을 특징으로 하는 산출방법을 제공한다.

발명의 효과

[0010] 본 발명의 산출방법에 의해, 다양한 위치에 설정한 가열선으로부터 목적형상에 근접하는 가열선의 선택을 반복해서 실시하기 때문에, 금속판을 목적형상에 근접시키기 위해서 최적의 복수의 가열선을 포함하는 가열방안을 산출할 수 있다. 또, 산출한 가열방안에 의거해서 금속판을 가열하는 것에 의해, 금속판을 목적형상에 근접시키는 형상으로 변형시키는 것이 가능하다.

[0011] 본 발명의 산출방법에서는 제1 또는 제3 스텝에서, 상기 해석결과 및 상기 목적형상을 복수의 블록으로 분할해서, 각 블록마다 상기 해석결과와 상기 목적형상을 비교하기 위해서, 복잡한 형상을 적절하게 평가하는 것이 가능하다. 이 때문에, 복잡한 목적형상의 가열방안을 작성하는 것이 가능하게 된다. 또, 선택 가열선이 적은 가열방안을 작성하는 것이 가능하게 된다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 본 발명의 1실시형태의 산출방법의 플로우차트이다.

도 2(a)~(c)는 본 발명의 1실시형태의 산출방법의 설명도이다.

도 3은 본 발명의 1실시형태의 산출방법에 포함되는 가열선의 설정방법의 설명도이다.

도 4는 본 발명의 1실시형태의 산출방법에 포함되는 가열선 상의 요소를 선택하는 방법의 설명도이다.

도 5는 본 발명의 1실시형태의 산출방법에 포함되는 해석결과와 목적형상과의 비교의 설명도이다.

- 도 6은 본 발명의 1실시형태의 산출방법에 포함되는 해석결과와 목적형상과의 비교의 설명도이다.
- 도 7(a)~(e)는 시뮬레이션에 산출한 가열방안이다.
- 도 8(a)~(d)는 산출한 가열방안에 의거하는 구조 해석의 해석결과이다.
- 도 9(a)는 시뮬레이션에서 사용한 목적형상(그릇형)이고, (b)는 산출한 가열방안에 의거하는 구조 해석의 해석결과이다.
- 도 10은 도 9 (a), (b)에 나타내는 파선 A-A' 에서의 목적형상과 해석결과를 비교한 그래프이다.
- 도 11은 도9 (a), (b)에 나타내는 1점쇄선 B-B' 에서의 목적형상과 해석결과를 비교한 그래프이다.
- 도 12(a)는 시뮬레이션에서 사용한 목적형상(안장형)이고, (b)는 산출한 가열방안에 의거하는 구조 해석의 해석결과다.
- 도 13은 시뮬레이션에 있어서 산출한 가열방안이다.
- 도 14는 도 12 (a), (b)에 나타내는 파선 A-A' 에서의 목적형상과 해석결과를 비교한 그래프이다.
- 도 15는 도 12(a), (b)에 나타내는 파선 B-B' 에서의 목적형상과 해석결과를 비교한 그래프이다.
- 도 16(a)는 시뮬레이션에서 사용한 목적형상(비틀림형)이고, (b)는 산출한 가열방안에 의거하는 구조 해석의 해석결과다.
- 도 17은 시뮬레이션에 있어서 산출한 가열방안이다.
- 도 18은 도 16(a), (b)에 나타내는 파선 A-A' 에서의 목적형상과 해석결과를 비교한 그래프이다.
- 도 19는 도 16(a), (b)에 나타내는 파선 B-B' 에서의 목적형상과 해석결과를 비교한 그래프이다.
- 도 20은 가열방안 작성과정에서의 선택 가열선의 개수 증가에 따른 해석결과와 목적형상과의 오차의 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 21은 목적형상의 입체도다.
- 도 22는 각 블록마다 해석결과와 목적형상을 비교해서 평가값을 산출하는 방법의 설명도이다.
- 도 23은 구조 해석에 의해 작성한 가열방안(선택 가열선: 20개)이다.
- 도 24는 작성한 가열방안을 사용한 구조 해석의 결과(작성 형상) 및 구조 해석의 결과와 목적형상과의 차분이다.
- 도 25는 가열방안 작성과정에서의 선택 가열선의 개수 증가에 따른 해석결과와 목적형상과의 오차(Z 변위 제곱 오차 합)의 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 26(a)는 분할하지 않고 해석결과를 평가해서 구조 해석을 실시해 작성한 가열방안(선택 가열선: 60개)을 사용한 구조 해석의 결과(작성 형상)이고, (b)는 이 구조 해석의 결과와 목적형상과의 오차이다.
- 도 27(a)는 해석결과 및 목적형상을 100분할해서 해석결과를 평가해서 구조 해석을 실시하고 작성한 가열방안(선택 가열선: 60개)을 사용한 구조 해석의 결과(작성 형상)이고, (b)는 이 구조 해석의 결과와 목적형상과의 오차이다.
- 도 28은 가열방안 작성과정에서의 선택 가열선의 개수 증가에 따른 해석결과와 목적형상과의 오차(Z 변위 제곱 오차 합)의 변화를 나타낸 그래프이다.
- 도 29는 가열방안 작성과정에서의 선택 가열선의 개수 증가에 따른 해석결과와 목적형상과의 오차(Z 변위 제곱 오차 합)의 변화를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 본 발명은 선상 가열에 의한 금속판의 굽힘 가공에 사용하는 가열방안의 산출방법으로서, 상기 금속판의 해석모델의 제1 위치에 설정한 적어도 1개의 제1 가열선을 포함하는 제1 가열조건으로 유한 요소법 구조 해석을 실시하고, 이 해석결과와 목적형상을 비교하는 제1 시행을 제1 가열선의 위치를 바꾸어서 반복하는 제1 스텝과, 반복한 제1 시행 가운데 해석결과가 목적형상에 근접한 제1 시행에서 설정한 적어도 1개의 제1 가열선을 제1 선택

가열선으로 선택하는 제2 스텝과, 제1 선택 가열선과, 상기 해석모델의 제2 위치에 설정한 적어도 1개의 제2 가열선을 포함하는 제2 가열조건으로 유한 요소법 구조 해석을 실시하고, 이 해석결과와 목적형상을 비교하는 제2 시행을 제2 가열선의 위치를 바꾸어서 반복하는 제3 스텝과, 반복한 제2 시행 가운데 해석결과가 목적형상에 근접한 제2 시행에서 설정한 적어도 1개의 제2 가열선을 제2 선택 가열선으로 선택하는 제4 스텝을 구비한다. 제1 또는 제3 스텝에서, 상기 해석결과 및 상기 목적형상을 복수의 블록으로 분할해서, 각 블록마다 상기 해석결과와 상기 목적형상을 비교한다.

[0014] 상기 가열방안은 제1 및 제2 선택 가열선을 포함하고, 상기 해석모델은 복수의 요소 및 복수의 절점을 가지는 한정요소 모델이다. 또, 제1 스텝에서, 상기 해석결과는 상기 절점에서의 곡률 및 변위량 중 한쪽을 사용해서 상기 목적형상과 비교되고, 제3 스텝에서, 상기 해석결과, 상기 절점에서의 곡률 및 변위량 중 다른 쪽을 사용해서 상기 목적형상과 비교된다. 이렇게 비교의 방법을 바꾸는 것에 의해, 계산속도·정밀도 모두 향상시킬 수 있다.

[0015] 본 발명의 산출방법에서, 상기 목적형상이 양의 곡률 및 음의 곡률 중 어느 한쪽을 가지는 형상인 경우, 제1 및 제3 스텝에서, 상기 해석결과는 상기 절점에서의 곡률을 사용해서 상기 목적형상과 비교되는 것이 바람직하고, 상기 목적형상이 양의 곡률 및 음의 곡률의 양쪽을 가지는 형상인 경우, 제1 및 제3 스텝에서, 상기 해석결과는 상기 절점에서의 변위량을 사용해서 상기 목적형상과 비교되는 것이 바람직하다. 이 것에 의해, 해석결과를 목적형상에 착실하게 근접시킬 수 있는 우수한 가열방안을 작성할 수 있다.

[0016] 상기 금속판은 표면 및 이면을 가진다. 제1 가열조건으로는 제1 가열선은 상기 표면 및 상기 이면 중 어느 한쪽에 설정되는 것이 바람직하고, 제2 가열조건으로는 제2 가열선은 상기 표면 및 상기 이면 중 어느 한쪽에 설정되는 것이 바람직하다. 또, 제4 스텝은 반복한 제2 시행 가운데 해석결과가 목적형상에 근접한 제2 시행에서 설정한 적어도 1개의 제2 가열선을 복수 선택하고, 선택한 복수의 제2 가열선 가운데, 제1 선택 가열선이 설정된 면과 동일한 면에 설정된 제2 가열선을 제2 선택 가열선으로 선택하는 스텝인 것이 바람직하다. 이것에 의해, 선택 가열선을 설정하는 가열면이 빈번하게 교체하는 것을 억제할 수 있고, 가열방안을 이용한 굽힘 가공의 효율성을 향상시킬 수 있다.

[0017] 제4 스텝은 반복한 제2 시행 가운데 해석결과가 목적형상에 근접한 제2 시행에서 설정한 적어도 1개의 제2 가열선을 복수 선택하고, 선택한 복수의 제2 가열선 가운데 굽힘량이 작은 제2 가열선을 제2 선택 가열선으로 선택하는 스텝인 것이 바람직하다. 이것에 의해, 굽힘량이 너무 커지는 것을 억제할 수 있고, 가열방안에 포함되는 선택 가열선의 개수를 적게 할 수 있다.

[0018] 이하, 복수의 실시형태를 참조해서 본 발명을 더욱 상세하게 설명한다. 도면이나 이하의 기술 중에서 나타내는 구성은 예시이며, 본 발명의 범위는 도면이나 이하의 기술 중에서 나타내는 것에 한정되지 않는다.

[0019] **제1 실시형태**

[0020] 도 1은 본 실시형태의 산출방법의 플로우차트이고, 도 2(a)~(c)는 산출방법의 설명도이고, 도 3은 가열선의 설정방법의 설명도이다. 또, 도 4는 가열선 상의 요소를 선택하는 방법의 설명도이다.

[0021] 본 실시형태의 산출방법은 선상 가열에 의한 금속판의 굽힘 가공에 사용하는 가열방안(6)의 산출방법이다. 또, 본 실시형태의 산출방법은 금속판의 해석모델(2)의 제1 위치에 설정한 적어도 1개의 제1 가열선(4)을 포함하는 제1 가열조건으로 유한 요소법 구조 해석을 실시하고, 이 해석결과(3)와 목적형상(10)을 비교하는 제1 시행을 제1 가열선(4)의 위치를 바꾸어서 반복하는 제1 스텝과, 반복한 제1 시행 가운데 해석결과(3)가 목적형상(10)에 근접한 제1 시행에서 설정한 적어도 1개의 제1 가열선(4)을 제1 선택 가열선(5)으로 선택하는 제2 스텝과, 제1 선택 가열선(5)과, 해석모델(2)의 제2 위치에 설정한 적어도 1개의 제2 가열선(4)을 포함하는 제2 가열조건으로 유한 요소법 구조 해석을 실시하고, 이 해석결과(3)와 목적형상(10)을 비교하는 제2 시행을 제2 가열선(4)의 위치를 바꾸어서 반복하는 제3 스텝과, 반복한 제2 시행 가운데 해석결과(3)가 목적형상(10)에 근접한 제2 시행에서 설정한 적어도 1개의 제2 가열선(4)을 제2 선택 가열선(5)으로 선택하는 제4 스텝과 을 구비한다.

[0022] 해석모델(2)은 복수의 요소(8) 및 복수의 절점(9)을 가지는 한정요소 모델이다. 제1 스텝에서, 해석결과(3)는 절점(9)에서의 곡률 및 변위량 중 한쪽을 사용해서 목적형상(10)과 비교되고, 제3 스텝에서, 해석결과(3)는 절점(9)에서의 곡률 및 변위량 중 다른 쪽을 사용해서 목적형상(10)과 비교된다.

[0023] 또, 가열방안(6)은 제1 선택 가열선(5) 및 제2 선택 가열선(5)을 포함한다.

[0024] 제2 스텝 또는 제4 스텝에서, 해석결과(3)가 가장 목적형상(10)에 근접한 가열선(4)을 선택할 수도 있고, 해석

결과(3)가 2회째 또는 3회째에 목적형상(10)에 근접한 가열선(4)을 선택할 수도 있다.

- [0025] 또, 본 실시형태의 프로그램은 본 실시형태의 산출방법을 컴퓨터에 실행시키도록 작성되어 있다.
- [0026] 본 실시형태의 산출방법은 유한 요소법 구조 해석(FEM 구조 해석)을 이용해서 선상 가열에 의한 금속판의 굽힘 가공에 사용하는 가열방안을 산출하는 방법이다.
- [0027] 가열방안은 금속판을 가열해서 굽힘 가공하기 위한 플랜이다.
- [0028] 본 실시형태의 산출방법에서는 금속판의 해석모델(2)을 사용한다. 해석모델(2)에는 금속판의 길이, 폭, 두께 등을 설정한다. 또, 금속판의 해석모델(2)은 표면과 이면을 가진다. 또, 해석모델(2)을 복수 개의 요소(메쉬)(8)로 분할한다. 요소(8)는 예를 들면, 사각형 또는 삼각형의 쉘일 수도 있고, 입방체, 직육면체, 삼각뿔, 삼각주 등이 솔리드일 수도 있다. 또, 요소(8)의 각 정점이 절점(9)이 된다. 예를 들면, 도 2(a)에 나타내는 해석모델(2)에서는 해석모델(2)은 20×20(400)개의 요소(8)로 분할되고, 이 요소(8)는 4각형의 쉘이다. 이 경우, 해석모델(2)은 격자상이 되고, 각 교점이 절점(9)이 된다.
- [0029] 본 실시형태의 산출방법에서는 목적형상(10)의 모델을 사용한다. 목적형상(10)은 금속판의 굽힘 가공 목표가 되는 형상이다. 목적형상(10)의 모델은 금속판의 해석모델(2)의 형상이 목적형상(10)이 되도록 절점(9)을 움직여서 작성한다.
- [0030] 본 실시형태의 산출방법에서는 예를 들면, 도 1에 나타낸 플로우차트에 의거해서 작성한 프로그램을 컴퓨터에 실행시키는 것에 의해 가열방안(6)을 산출할 수 있다. 여기에서는 도 1에 나타낸 플로우차트에 따라서 설명한다.
- [0031] 우선, 컴퓨터에 목적형상(10)의 모델 및 해석모델(2)을 리딩한다.
- [0032] 다음에, 해석모델(2)의 제1 위치에 가열선(4)을 설정한다. 제1 위치는 해석모델(2)의 임의의 위치에 랜덤으로 설정할 수 있다. 제1 위치는 금속판의 해석모델(2)의 표면에 포함되는 위치일 수도 있고, 해석모델(2)의 이면에 포함되는 위치일 수도 있다. 가열선(4)은 직선일 수도, 곡선일 수도 있다. 또, 복수의 가열선(4)을 설정할 수도 있다. 예를 들면, 5개의 가열선(4)을 설정할 수 있다.
- [0033] 예를 들면, 가열선(4)이 직선인 경우, 도 3에 나타내는 바와 같이, 해석모델(2)의 임의의 2개의 절점(9)(x_1, y_1), (x_2, y_2)을 랜덤으로 선택하고, 이 2개의 절점(9)을 연결하는 직선에 가열선(4)을 설정할 수 있다. 이 경우, 설정한 가열선(4)은 식: $y = \{(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)\}x + \{(x_2 y_1 - x_1 y_2) / (x_2 - x_1)\}$ 로 나타낼 수 있다.
- [0034] 예를 들면, 도 2(a)에 나타내는 가열선(4a)을 설정할 수 있다. 또, 5개의 가열선(4)을 설정하는 경우, 가열선(4a~4e)를 설정할 수 있다. 도 2(a)~(c)에서는 금속판의 표면에 설정한 가열선(4) 또는 선택 가열선(5)과, 금속판의 이면에 설정한 가열선(4) 또는 선택 가열선(5)을 구별하고 있지 않지만, 가열선(4a~4V), 선택 가열선(5)에는 금속판의 표면에 설정된 것도 있지만, 금속판의 이면에 설정된 것도 있다.
- [0035] 다음에, 설정한 가열선(4) 상의 요소(8)를 선택한다. 요소(8)의 각 변 가운데 적어도 1개의 변이 가열선(4)과 교차하면 그 요소(8)는 가열선(4) 상에 있는 것으로 할 수 있다. 예를 들면, 도 4에 나타낸 해석모델(2)에서는 요소(1, 2, 3)는 가열선(4) 상에 있지만, 요소(4)는 가열선(4) 상에 없다. 복수의 가열선(4)을 설정하고 있는 경우에는, 복수의 가열선(4) 상의 요소(8)를 선택한다.
- [0036] 다음에, 해석모델(2)로 유한 요소법 구조 해석을 실시한다. 유한 요소법 구조 해석에서는 설정한 가열선(4)을 선상 가열하는 가열조건에 있어서, 선택한 요소(8)에 변형을 부여해서 해석결과(3)(구조 해석에 의해 변형시킨 해석모델)를 얻는다. 가열조건은 가열선(4)의 위치에 부가해서 입열량을 포함할 수 있다. 제1 가열선(4)을 금속판의 해석모델(2)의 표면에 설정했을 경우, 해석에 있어서 금속판은 표면측에서 가열된다. 제1 가열선(4)을 금속판의 해석모델(2)의 이면에 설정했을 경우, 해석에 있어서 금속판은 이면측에서 가열된다.
- [0037] 유한 요소법 구조 해석은 FEM 열탄소성 해석일 수도 있고, 고유 변형법에 의한 탄성해석일 수도 있다. 구조 해석에서는 가스버너를 사용하는 선상 가열을 상정할 수도 있고, 레이저를 사용하는 선상 가열(레이저 포밍 등)을 상정할 수도 있고, 유도가열을 사용하는 선상 가열을 상정할 수도 있다. 또, 구조 해석에서는 굽힘 가공의 대상이 되는 금속판의 재료 물성값(영률, 포와송비, 밀도 등)을 사용한다.
- [0038] FEM 열탄소성 해석에서는 가열조건(설정된 가열선(4)의 위치(가열면을 포함한다) 및 입열량(J/mm))에 대하여 선택한 요소(8)의 종 수축, 횡 수축, 각 변형, 세로 힘의 4성분의 고유 변형량을 산출한다. FEM 열탄소성 해석에

서는 열 및 변형이력을 순차 재현해서 변형해석을 실시하기 때문에 과도의 상황을 해석할 수 있다.

- [0039] 고유 변형법에 의한 탄성해석에서는 선상 가열에 의한 금속관(해석모델(2))의 변형은 고유변형에 의해 발생하는 것으로 생각된다. 이 고유변형이 알려진 것이라면, 선상 가열에 의한 금속관(해석모델(2))의 변형이 탄성해석에서 가열선(4)을 따라서 고유변형을 강제 변형으로서 부가하는 것으로 예측 가능해진다. 따라서 고유 변형법에 의한 탄성해석에서는 미리 산출한 또는 측정된 고유 변형을 사용해서 구조 해석을 한다. 예를 들면, FEM 열탄소성 해석을 사용해서 산출한 고유 변형, 또는 실제로 선상 가열해서 변형시킨 금속관을 측정하는 것에 의해 취득되는 고유 변형을 고유 변형법에 의한 탄성해석에 사용할 수 있다. 또, 고유 변형법에 의한 탄성해석은 미리 산출 또는 측정된 입열량과 고유 변형과의 관계를 나타내는 식을 사용해서 실시할 수 있다.
- [0040] 또, 고유 변형법은 탄성해석이기 때문에 계산 시간이 열탄소성 해석에 비해서 상당히 단시간이라는 것을 특징으로 들 수 있다.
- [0041] 다음에, 해석결과(3)와 목적형상(10)을 비교하고, 해석결과(3)와 목적형상(10)의 오차를 평가한다. 그리고 평가값 및 설정한 가열선(4)의 위치를 기억부에 보존한다.
- [0042] 해석모델 전체로서, 해석결과(3)와 목적형상(10)을 비교해 평가값을 산출할 수 있다.
- [0043] 또, 해석결과(3) 및 목적형상(10)을 복수의 블록으로 분할해서 각 블록마다 해석결과(3)와 목적형상(10)을 비교하고 평가값을 산출할 수 있다. 예를 들면, 해석모델(2)을 4등분, 9등분, 16등분, 25등분, 36등분, 49등분, 64등분, 81등분 또는 100등분해서 블록으로 나눌 수 있다.
- [0044] 또, 해석모델 전체로서의 해석결과(3)와 목적형상(10)의 비교와, 각 블록마다의 해석결과와 목적형상의 비교의 양쪽을 실시하고 평가값을 산출할 수 있다.
- [0045] 평가지표로서는 예를 들면, 절점(9)의 면외방향 변위량(변위량) 또는 곡률로 할 수 있다.
- [0046] 도 5는 해석모델 전체로서 해석결과(3)와 목적형상(10)을 비교하고, 평가지표를 절점(9)의 면외방향 변위량(13)으로 했을 경우에서의 해석결과(3)와 목적형상(10)의 비교의 설명도이다. 예를 들면 도 5와 같이, 해석결과(3)의 절점(9)으로부터 대응하는 목적형상(10)의 절점(12)까지의 면외방향의 변위량(d)(오차)을 산출한다. 이렇게, 평가지표를 절점(9)의 변위량(d)으로 하면, 금속관을 비교적 빠르게 목적형상에 근접시킬 수 있는 가열방안을 산출할 수 있다. 또, 이 비교에서 평가값을 산출할 수 있다.
- [0047] 해석모델 전체로서 해석결과(3)와 목적형상(10)을 비교하는 경우, 평가값은 해석모델에 포함되는 모든 절점(12)의 변위량(d)을 자승해서 더한 값($\sum d^2$)으로 할 수 있다.
- [0048] 도 6은 해석결과(3) 및 목적형상(10)을 복수의 블록으로 분할해서 각 블록마다 해석결과(3)와 목적형상(10)을 비교할 경우에서의 해석결과(3)와 목적형상(10)의 비교의 설명도이다. 해석모델은 3차원이지만, 도 6은 설명을 위해서 이차원으로 나타내고 있다. 예를 들면, 해석결과(3) 및 목적형상(10)을 4개의 블록(A~D)으로 분할한다. 그리고 블록(A)에 포함되는 해석결과(3)의 절점(9)의 최소자승 직선(회귀직선)을 산출한다(3차원의 해석모델에서는 최소자승 평면을 산출한다). 이 최소자승 직선이 x축과 평행하게 되도록 블록(A)에 포함되는 절점(9)을 회전시킨다(삼차원의 해석모델에서는 최소자승 평면이 x축 및 y축과 평행하게 되도록 절점(9)을 회전시킨다. 즉, 최소자승 평면의 법선 벡터가 (0, 0, 1)을 향하도록 절점(9)을 회전시킨다). 또, 최소자승 직선(최소자승 평면)을 z=0로 한다. 회전 후에 있어서, 각 절점의 z축 좌표는 $z_6 \sim z_{10}$ 이 된다.
- [0049] 또, 블록(A)에 포함되는 목적형상(10)의 절점(12)의 최소자승 직선(회귀직선)을 산출한다(3차원의 해석모델에서는 최소자승 평면을 산출한다). 이 최소자승 직선이 x축과 평행하게 되도록 블록(A)에 포함되는 절점(12)을 회전시킨다(삼차원의 해석모델에서는 최소자승 평면이 x축 및 y축과 평행하게 되도록 절점(12)을 회전시킨다). 또, 최소자승 직선(최소자승 평면)을 z=0로 한다. 회전후에 있어서, 각 절점의 z축 좌표는 $z_1 \sim z_5$ 가 된다. 이렇게 해석결과(3) 또는 목적형상(10)을 회전시키는 것에 의해 해석결과(3)의 방향과 목적형상(10)의 방향이 같아지고, 해석결과(3)와 목적형상(10)의 국소적인 오차를 적절하게 평가할 수 있다.
- [0050] 그리고 해석결과(3)의 절점(9)과 그것에 대응하는 목적형상의 절점(12)의 z축 좌표의 차이(변위량)($d_1 \sim d_5$)를 산출한다. 구체적으로는, $d_1=z_1-z_6$, $d_2=z_2-z_7$, $d_3=z_3-z_8$, $d_4=z_4-z_9$, $d_5=z_5-z_{10}$ 이 된다. 그리고 블록(A)에 포함되는 절점의 변위량($d_1 \sim d_5$)을 자승해서 더한다($d_1^2+d_2^2+d_3^2+d_4^2+d_5^2$). 이 취득된 값이 블록(A)에서의 평가값(제곱오차

합)이 된다.

- [0051] 블록(B), 블록(C) 및 블록(D)의 각각에 대해서 블록(A)와 마찬가지로 평가값(제곱오차 합)을 산출한다. 그리고 해석모델에 포함되는 모든 블록(A~D)의 평가값을 더하는 것에 의해 해석결과의 평가값을 산출할 수 있다.
- [0052] 해석모델 전체로서의 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 비교와, 각 블록마다의 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 비교의 양쪽을 실시해서 평가값을 산출하는 경우, 예를 들면, 식: 평가값 = (전체의 제곱오차 합)^a × ∑(각 블록에서의 제곱오차 합)^b를 사용해서 평가값을 산출할 수 있다. a 및 b는 가중치 파라미터이다. a, b는 경험칙이나 과거의 데이터에 의거해서 결정할 수 있다. 전체의 제곱오차 합은 전체적인 형상의 유지에 기여하고, 각 블록에서의 제곱오차 합은 국부적인 형상을 작성하는데도 기여한다.
- [0053] 평가지표를 절점(9)의 곡률로 했을 경우, 해석결과(3)의 절점(9)의 곡률과, 이 절점(9)에 대응하는 목적형상(10)의 절점(12)의 곡률의 오차(곡률오차(r))를 산출한다. 이렇게, 평가지표를 곡률로 하면, 금속판을 고정밀도로 목적형상에 근접시킬 수 있는 가열방안을 산출할 수 있다. 또, 이 비교에 있어서, 평가값을 산출할 수 있다.
- [0054] 해석모델 전체로서 해석결과(3)와 목적형상(10)을 비교할 경우, 평가값은 해석모델에 포함되는 모든 절점(9)의 곡률오차(r)를 자승해서 더한 값(∑r²)으로 할 수 있다.
- [0055] 평가지표를 절점(9)의 곡률로서, 해석결과(3) 및 목적형상(10)을 복수의 블록으로 분할해서 각 블록마다 해석결과(3)와 목적형상(10)을 비교하는 경우, 블록에 포함되는 모든 절점의 곡률오차(r)를 자승해서 서로 더하는 것에 의해 각 블록의 평가값(제곱오차 합)을 산출하고, 모든 블록의 평가값을 서로 더하는 것에 의해 해석결과의 평가값을 산출할 수 있다.
- [0056] 평가지표를 절점(9)의 변위량 및 곡률의 양쪽으로 했을 경우, 각 절점(9)의 변위량(d) 및 곡률오차(r)를 산출한다. 또, 이 비교에 있어서, 평가값을 산출할 수 있다.
- [0057] 해석모델 전체로서 해석결과(3)와 목적형상(10)을 비교하는 경우, 평가값은 해석모델에 포함되는 모든 절점(12)의 변위량(d)을 자승해서 더한 값(∑d²)과, 해석모델에 포함되는 모든 절점(12)의 곡률오차(r)를 자승해서 더한 값(∑r²)과의 곱으로 할 수 있다. 예를 들면, 평가값은 식: 평가값 = (∑d²)^a × (∑r²)^b를 사용해서 산출할 수 있다. a 및 b는 가중치 파라미터이다. a, b는 경험칙이나 과거의 데이터에 의거해 결정할 수 있다. 예를 들면, a가 1일 때, b는 5이상 10이하로 할 수 있다.
- [0058] 평가지표를 절점(9)의 변위량 및 곡률의 양쪽으로서, 해석결과(3) 및 목적형상(10)을 복수의 블록으로 분할해서 각 블록마다 해석결과(3)와 목적형상(10)을 비교하는 경우, 각 블록의 평가값은 블록에 포함되는 모든 절점(12)(회전 후)의 변위량(d)을 자승해서 더한 값(∑d²)과, 블록에 포함되는 모든 절점(12)의 곡률오차(r)를 자승해서 더한 값(∑r²)과의 곱으로 할 수 있다. 예를 들면, 평가값은 식: 평가값 = (∑d²)^a × (∑r²)^b를 사용해서 산출할 수 있다. 그리고 모든 블록의 평가값을 서로 더하는 것에 의해 해석결과의 평가값을 산출할 수 있다.
- [0059] 평가지표에 변위량을 사용할 것인지, 곡률을 사용할 것인지, 또는 변위량과 곡률의 양쪽을 사용할 것인지는 목적형상, 가공효율 등을 고려해서 결정할 수 있다.
- [0060] 가열선(4)의 설정으로부터 평가값 및 설정한 가열선(4)의 위치 보존까지의 플로우를 1회째의 시행이라고 한다.
- [0061] 1회째의 시행이 끝나면, 다음에 2회째의 시행을 실시한다. 2회째의 시행은 기본적으로는 1회째의 시행과 같은 플로우이지만, 2회째의 시행의 가열선(4)은 1회째의 시행의 가열선(4)의 설정위치와는 다른 위치에 설정한다. 이 위치는 해석모델(2)이 임의의 위치에 랜덤으로 설정할 수 있다. 또, 이 위치는 금속판의 해석모델(2)의 표면에 포함되는 위치일 수도 있고, 해석모델(2)의 이면에 포함되는 위치일 수도 있다. 2회째의 시행에 있어서도, 가열선(4)은 직선일 수도 있고, 곡선일 수도 있다. 또, 복수의 가열선(4)을 설정할 수도 있다. 예를 들면, 도 2(a)에 나타내는 가열선(4b)를 설정한다. 또, 5개의 가열선(4)을 설정할 경우, 예를 들면, 가열선(4f~4j)를 설정할 수 있다. 그리고 설정한 가열선(4) 상의 요소(8)를 선택하고, 유한 요소법 구조 해석을 실시하고, 해석결과(3)를 얻는다. 취득된 해석결과(3)와 목적형상(10)을 비교하고, 평가값을 산출한다. 또, 산출한 평가값 및 설정한 가열선(4)의 위치를 기억부에 보존한다.
- [0062] 이러한 시행을 X회 반복한다. 예를 들면, 도 2(a)에 나타내는 바와 같이, 가열선(4)의 위치를 가열선(4c~4k)으로 해서, 각각의 위치에서 시행을 실시할 수 있다. 또, 각 시행에서 복수의 가열선(4)을 설정해서 시행을 실시

할 수 있다. 예를 들면, 5개의 가열선을 설정하는 경우, 각 시행에서 5개의 가열선(4)을 설정해서 시행을 실시한다. 시행 횟수는 예를 들면, 100회 이상 1500회 이하로 할 수 있다.

- [0063] 2회째로부터 X회째까지의 시행에서는 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차를 평가하는 지표에 변위량을 사용할 수도 있고, 곡률을 사용할 수도 있고, 변위량과 곡률의 양쪽을 사용할 수도 있지만, 1회째와 같은 지표를 사용한다. 또, 평가값도 1회째의 시행과 같이 산출한다.
- [0064] 각 시행에서의 해석결과(3)는 다른 위치의 가열선(4)에 대응한 형상이 되고, 각각 다른 형상이 되고, 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)은 각 시행에서 서로 다르다.
- [0065] 다음에, 각 시행 가운데 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 가장 작은 시행에서의 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 선택한다. 각 시행 가운데 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 2회째, 3회째, 4회째 또는 5회째로 작은 시행에서의 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 선택할 수도 있다. 어느 시행에서의 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 선택할 것인지는 목적형상(10), 굽힘량의 크기 등을 고려해서 결정할 수 있다. 또, 시행에 있어서 복수의 가열선(4)을 설정하고 있는 경우, 복수의 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 선택한다. 예를 들면, 도2(a)에 나타내는 가열선(4a~4k) 가운데 가열선(4d)를 선택할 수 있다. 또, 각 시행에서 가열선(4)을 5개 설정하고 있는 경우, 예를 들면, 가열선(4f~4j)를 선택할 수 있다.
- [0066] 1회째의 시행으로부터 선택 가열선(5)을 선택할 때까지를 1회째의 가열선 선택 플로우라고 한다.
- [0067] 1회째의 가열선 선택 플로우가 끝나면, 다음에 2회째의 가열선 선택 플로우를 실시한다. 2회째의 가열선 선택 플로우는 기본적으로는 1회째의 가열선 선택 플로우와 같은 플로우이지만, 해석모델(2)이 임의의 위치에 가열선(4)을 랜덤으로 설정할 때에, 1회째의 가열선 선택 플로우에서 선택한 선택 가열선(5)과, 2회째의 가열선 선택 플로우의 각 시행에서 랜덤으로 설정하는 가열선(4)의 양쪽을 설정하고, 선택 가열선(5) 상의 요소(8) 및 설정한 가열선(4) 상의 요소(8)를 선택한다. 그리고 이 가열조건으로 구조 해석을 실시하는 것에 의해, 선택 가열선(5)과 설정한 가열선(4)의 양쪽을 반영한 해석결과(3)를 얻을 수 있다. 2회째의 가열선 선택 플로우에서도 각 시행에서 복수의 가열선(4)을 설정할 수도 있다. 또, 1회째의 가열선 선택 플로우의 각 시행에서 설정하는 가열선(4)의 개수와, 2회째의 가열선 선택 플로우의 각 시행에서 설정하는 가열선(4)의 개수는 다른 개수일 수도 있다. 예를 들면, 도 2(b)에 나타내는 선택 가열선(5)과 가열선(4i)을 설정할 수 있다. 또, 각 시행에서 가열선(4)을 5개 설정하고 있는 경우, 예를 들면, 1회째의 가열선 선택 플로우에서 선택한 선택 가열선(가열선(4f~4j))과 가열선(4i~4p)를 설정할 수 있다.
- [0068] 2회째의 가열선 선택 플로우에서 X회까지 시행을 반복하고, 각 시행 가운데 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 가장 작은 시행에서의 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 선택한다. 각 시행 가운데 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 2회째 또는 3회째로 작은 시행에서의 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 선택할 수도 있다. 또, 시행에서 복수의 가열선(4)을 설정하고 있는 경우, 복수의 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 선택한다. 예를 들면, 도 2(b)에 나타내는 가열선(4i~4v) 가운데 가열선(4s)을 선택할 수 있다. 또, 각 시행에서 가열선(4)을 5개 설정하고 있는 경우, 예를 들면, 가열선(4i~4p)을 선택할 수 있다.
- [0069] 3, 4, . . . , n회째의 가열선 선택 플로우를 차례로 실시한다. 각 가열선 선택 플로우(A 회째의 가열선 선택 플로우라고 한다)는 기본적으로는 1회째의 가열선 선택 플로우와 동일한 플로우이지만, 해석모델(2)이 임의의 위치에 적어도 1개의 가열선(4)을 랜덤으로 설정할 때에, A회째의 가열선 선택 플로우의 각 시행에서 랜덤으로 설정하는 적어도 1개의 가열선(4)과, (A-1)회째 이전의 가열선 선택 플로우에서 선택한 모든 선택 가열선(5)을 설정한다. 또, A회째의 가열선 선택 플로우의 각 시행에서 복수의 가열선(4)을 설정해서 시행을 실시할 수 있다. 예를 들면, 5개의 가열선(4)을 설정하는 경우, 각 시행에서 랜덤으로 설정하는 5개의 가열선(4)과, (A-1)회째 이전의 가열선 선택 플로우에서 선택한 모든 선택 가열선(5)을 설정해서 시행을 실시한다.
- [0070] 예를 들면, 3회째의 가열선 선택 플로우에서는 1회째의 가열선 선택 플로우에서 선택한 선택 가열선(5)(4d)과, 2회째의 가열선 선택 플로우에서 선택한 선택 가열선(5)(4s)과, 3회째의 가열선 선택 플로우의 각 시행에서 랜덤으로 설정하는 적어도 1개의 가열선(4)을 설정한다. 즉, 가열선 선택 플로우의 횟수를 거듭함에 따라서 설정하는 선택 가열선(5)의 수가 증가한다.
- [0071] 그리고 모든 선택 가열선(5) 상의 요소(8) 및 설정한 가열선(4) 상의 요소(8)를 선택하고, 이 가열조건으로 구조 해석을 실시하는 것에 의해, 전부의 선택 가열선(5)과 설정한 가열선(4)을 반영한 해석결과(3)를 얻을 수 있다.
- [0072] A회째의 가열선 선택 플로우에서 X회까지 시행을 반복하고, 각 시행 가운데 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오

차(평가값)가 가장 작은 시행에서의 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 선택한다. 각 시행 가운데 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 2회째 또는 3회째로 작은 시행에서의 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 선택할 수도 있다. 또, 시행에서 복수의 가열선(4)을 설정하고 있는 경우, 복수의 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 선택한다.

[0073] N회째의 가열선 선택 플로우에서 선택한 선택 가열선(5)을 포함하는 가열조건에서의 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 작다고 판단되면, 가열선 선택 플로우의 반복을 종료하고, 1~n회째의 가열선 선택 플로우에서 선택한 선택 가열선(5)을 포함하는 가열방안(6)이 완성한다. 가열방안(6)은 예를 들면, 도 2(c)과 같이 복수의 선택 가열선(5)을 포함한다.

[0074] 또, 가열선 선택 플로우의 횟수에 상한을 설정할 수 있다. 이 상한은 제1 목적형상(10)에 도달하기 위해서 필요하다고 생각되는 선택 가열선(5)의 수를 상회하는 수로 설정할 수 있다. 이것에 의해, 가열방안에 포함되는 선택 가열선(5)이 너무 많아지는 것을 억제할 수 있고, 가공 코스트가 높은 가열방안이 되는 것을 억제할 수 있다.

[0075] 본 실시형태에서는 복수 회 실시한 가열선 선택 플로우 가운데, 일부의 가열선 선택 플로우에서는 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차를 평가하는 지표에 변위량을 사용하고(변위량을 사용해서 평가값을 산출한다), 다른 가열선 선택 플로우에서는 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차를 평가하는 지표로 곡률을 사용할 수 있다(곡률을 사용해서 평가값을 산출한다). 즉, A회째의 가열선 선택 플로우로부터 (A+1)회째의 가열선 선택 플로우로 옮길 때에, 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차를 평가하는 지표를 변위량에서 곡률로 또는 곡률에서 변위량으로 전환한다. 예를 들면, 해석결과(3)가 어느 정도 목적형상에 근접할 때까지의 가열선 선택 플로우에서는 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차를 평가하는 지표로 변위량을 사용하고, 그 후의 가열선 선택 플로우에서는 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차를 평가하는 지표로 곡률을 사용할 수 있다. 변위량을 사용한 가열선 선택 플로우에서 선택한 선택 가열선(5)에서의 가열에서는 가공속도를 빠르게 할 수 있고, 곡률을 사용한 가열선 선택 플로우에서 선택한 선택 가열선(5)에서의 가열에서는 가공정도를 높게 할 수 있다. 따라서 가공효율과 가공 정도를 양립시키는 것이 가능하게 된다.

[0076] 또, 해석결과에 대응해서 가열선 선택 플로우마다 오차평가 지표로 변위량을 사용할 것인지, 곡률을 사용할 것인지 변위량과 곡률의 양쪽을 사용할 것인지를 선택하면서 계산을 진행시킬 수 있다.

[0077] 취득된 가열방안(6)에 의거해서 금속판을 선상 가열해서 굽힘 가공하는 것에 의해, 금속판을 목적형상에 가까운 형상으로 변형시키는 것이 가능하다. 금속판의 굽힘 가공은 작업자가 실시할 수도 있고, 기계가 자동적으로 실시할 수도 있다. 기계에서 금속판의 굽힘 가공을 실시하는 경우, 복수의 선택 가열선(5)을 동시에 가열할 수도 있다.

[0078] 가열방안(6)은 가열선 선택 플로우의 순서에 대응한 선택 가열선(5)의 순서를 포함할 수 있다. 가열방안(6)에 의거해서 금속판을 선상 가열해서 굽힘 가공할 때, 이 순서에 따라서 선택 가열선(5)을 가열할 수 있다. 이것에 의해, 금속판을 목적형상에 더욱 가까운 형상으로 변형시키는 것이 가능하다.

[0079] 취득된 가열방안(6)에 의거해서 금속판을 가공하는 가공방법은 A회째(A=1~n)의 가열선 선택 플로우에서 선택한 선택 가열선(5)을 포함하는 가열조건으로 금속판을 선상 가열하고, 금속판에 굽힘 가공을 실시하는 스텝과, 굽힘 가공이 실시된 금속판의 입체 형상을 측정하는 스텝과, 측정된 금속판의 입체 형상과, A회째의 가열선 선택 플로우에서 선택 가열선(5)을 포함하는 가열조건으로 실시한 유한 요소법 구조 해석의 해석결과(3)를 비교하는 스텝과, 비교한 결과에 의거해서 금속판의 입체 형상이 상기 해석결과(3)에 근접하도록 금속판을 가열하는 스텝을 구비할 수 있다.

[0080] 금속판의 입체 형상을 측정하는 스텝은 삼차원 측정기를 사용해서 실시할 수 있다. 삼차원 측정기는, 접촉식일 수도 있고, 주사 레이저 프로브 타입일 수도 있고, 또는 광학 타입의 비접촉식일 수도 있다. 이것에 의해, 금속판을 목적형상에 더욱 가까운 형상으로 변형시키는 것이 가능하다.

[0081] 가열방안(6)에 의거하는 금속판의 가공을 자동에서 실시하는 가공장치는 예를 들면, 금속판을 가열하는 가열부와, 가공장치를 제어하는 제어부를 구비할 수 있다. 제어부는 가열방안(6)을 리딩(reading)할 수 있도록 설치되고, 가열방안(6)에 따라서 금속판을 가열하도록 가열부를 제어하도록 설치된다.

[0082] **제2 실시형태**

[0083] 제2 실시형태에서는 목적형상(10)에 의거하여 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차를 평가하는 지표를 결정한다

다. 구체적으로는, 목적형상(10)이 양의 곡울 및 음의 곡울 중 어느 한쪽을 가지는 형상인 경우(예를 들면, 목적형상(10)이 그릇형인 경우), 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차를 평가하는 지표로 절점(9)에서의 곡울을 사용한다. 이것에 의해, 제1회째의 가열선 선택 플로우로부터 제n 회째의 가열선 선택 플로우까지, 해석결과(3)를 목적형상(10)에 착실하게 근접시킬 수 있고, 뛰어난 가열방안을 작성할 수 있다.

[0084] 한편, 목적형상(10)이 양의 곡울 및 음의 곡울 양쪽을 가지는 형상인 경우(예를 들면, 목적형상(10)이 안장형, 비틀림형 등의 경우), 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차를 평가하는 지표로 절점(9)에서의 변위량을 사용한다. 이것에 의해, 제1회째의 가열선 선택 플로우로부터 제n 회째의 가열선 선택 플로우까지, 해석결과(3)를 목적형상(10)에 착실하게 근접시킬 수 있고, 뛰어난 가열방안을 작성할 수 있다.

[0085] 기타의 구성은 제1 실시형태와 동일하다. 또, 제1 실시형태에 관한 기재는 모순이 없는 한 제2 실시형태에 대해서도 적합하다.

[0086] **제3 실시형태**

[0087] 제3 실시형태에서는 직전의 가열선 선택 플로우에서 선택된 선택 가열선(5)이 설정된 가열면(금속판의 표면 및 이면 중 어느 한쪽)과 같은 가열면에 설정된 가열선(4)을 우선적으로 선택하면서 가열방안을 작성해 간다. 이것에 의해, 선택 가열선(5)을 설정하는 가열면이 빈번히 교체하는 것을 억제할 수 있고, 가열방안을 이용한 굽힘 가공의 효율성을 향상시킬 수 있다.

[0088] 구체적으로는 A회째의 가열선 선택 플로우에서 실시한 복수의 시행 가운데 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 작은 복수의 시행을 선택한다. 예를 들면, 500회의 시행을 실시하고 있는 경우, 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 작은 10개의 시행을 선택한다. 또, 선택하는 시행의 수는 예를 들면 2 이상 10 이하로 할 수 있다.

[0089] 다음에, 선택한 복수의 시행 가운데, (A-1)회째의 가열선 선택 플로우에서 선택된 선택 가열선(5)이 설정된 가열면과 같은 가열면에 가열선(4)이 설정된 시행 가운데 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 가장 작은 시행의 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 선택한다. 이것에 의해, 동일한 가열면에 설정된 선택 가열선(5)을 계속할 수 있다.

[0090] 예를 들면, 도 2(b)에서, 직전의 가열선 선택 플로우에서 선택된 선택 가열선(5)(4d)이 금속판의 표면에 설정되고, 금속판의 표면에 가열선(4s)을 설정한 시행, 금속판의 이면에 가열선(4q)을 설정한 시행 및 금속판의 이면에 가열선(4v)을 설정한 시행이 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 작은 경우, 가열선(4q)을 설정한 시행 및 가열선(4v)을 설정한 시행의 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 가열선(4s)을 설정한 시행의 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)보다도 작을 경우 하더라도, 선택 가열선(5)(4d)과 동일한 가열면에 설정된 가열선(4s)을 선택 가열선(5)으로 선택한다.

[0091] 선택한 복수의 시행 가운데, (A-1)회째의 가열선 선택 플로우에서 선택된 선택 가열선(5)이 설정된 가열면과 동일한 가열면에 가열선(4)을 설정한 시행이 포함되어 있지 않은 경우에는, 선택한 복수의 시행 가운데, 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 가장 작은 시행의 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 선택한다. 이 경우, 가열면이 교체된다.

[0092] 기타의 구성은 제1 또는 제2 실시형태와 동일하다. 또, 제1 또는 제2 실시형태에 관한 기재는 모순이 없는 한 제3 실시형태에 대해서도 적합하다.

[0093] **제4 실시형태**

[0094] 제4 실시형태에서는 가열선 선택 플로우에서 굽힘량이 작은 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 우선적으로 선택한다. 이것에 의해, 굽힘량이 너무 커지는 것을 억제할 수 있고, 가열방안에 포함되는 선택 가열선(5)의 개수를 적게 할 수 있다. 또, 굽힘량이 너무 크면, 이 너무 구부러진 부분을 수정하기 위해서 선택 가열선(5)을 설정할 필요가 발생하고, 가열방안에 포함되는 선택 가열선(5)의 개수가 많아지는 경향이 있다.

[0095] 구체적으로는 A회째의 가열선 선택 플로우에서 실시한 복수의 시행 가운데 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 작은 복수의 시행을 선택한다. 예를 들면, 500회의 시행을 실시했을 경우, 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 작은 10개의 시행을 선택한다. 또, 선택하는 시행의 수는 예를 들면 2 이상 10 이하로 할 수 있다.

[0096] 다음에, 선택한 복수의 시행 가운데 굽힘량이 작은 시행에서 설정한 가열선(4)을 선택 가열선(5)으로 선택한다.

[0097] 예를 들면, 도 2(a)에서, 가열선(4a)을 설정한 시행, 가열선(4d)을 설정한 시행 및 가열선(4j)을 설정한 시행이 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가 작은 경우, 가열선(4d)을 설정한 시행의 굽힘량이 가열선(4a)을 설정한 시행 및 가열선(4j)을 설정한 시행보다도 작으면, 가열선(4a)을 설정한 시행 및 가열선(4j)을 설정한 시행의 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)가, 가열선(4d)을 설정한 시행의 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차(평가값)보다도 작을 경우라고 하여도 가열선(4d)을 선택 가열선(5)으로 선택한다.

[0098] 또, 선택한 복수의 시행 가운데 굽힘량이 너무 큰 시행을 선택 가열선(5)의 후보로부터 제외할 수도 있다.

[0099] 기타의 구성은 제1, 제2 또는 제3 실시형태와 동일하다. 또, 제1, 제2 또는 제3 실시형태에 관한 기재는 모순이 없는 한 제4 실시형태에 대해서도 적합하다.

[0100] **제5 실시형태**

[0101] 본 실시형태에서는 1회째의 가열선 선택 플로우로부터 A회째의 가열선 선택 플로우까지는 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차를 평가하는 지표로 변위량을 사용하고(변위량을 사용해서 평가값을 산출한다), (A+1)회째 이후의 가열선 선택 플로우에서는 해석결과(3)와 목적형상(10)과의 오차를 평가하는 지표로 곡률 및 변위량의 양쪽을 사용한다. 변위량에서 변위량과 곡률의 양쪽으로 지표를 전환하는 타이밍은, 예를 들면, (A-1)회째의 가열선 선택 플로우에서 선택한 선택 가열선의 평가값과, A회째의 가열선 선택 플로우에서 선택한 선택 가열선의 평가값과의 차이가 소정의 값을 하회했을 때로 할 수 있다.

[0102] 이렇게 지표를 전환하는 것에 의해 가열선 개수가 적은 가열방안을 작성할 수 있다.

[0103] 기타의 구성은 제1, 제2, 제3 또는 제4 실시형태와 동일하다. 또, 제1, 제2, 제3 또는 제4 실시형태에 관한 기재는 모순이 없는 한 제5 실시형태에 대해서도 적합하다.

[0104] **시뮬레이션**

[0105] 본 발명의 산출방법(구조 해석: 고유 변형법에 의한 탄성해석)을 사용해서 가열방안(목적형상: 그릇형, 안장형, 비틀림형)을 산출하고, 산출한 가열방안을 사용해서 고유 변형법에 의한 탄성해석(구조 해석)을 실시하는 시뮬레이션을 실시했다.

[0106] 고유 변형법에 의한 변형해석을 위해서 요소에 부여하는 고유 변형은 해석모델에 대하여 FEM 열탄소성 해석을 실시하고, 그 변형결과에서 취득했다.

[0107] 고유 변형법에 의한 구조 해석에서는 판 길이: 500mm, 판폭: 500mm의 판상의 해석모델을 사용하고, 해석모델은 절점 수, 요소 수가 각각 2, 601, 2, 500이 되도록 사각형의 셸 요소로 분할했다. 또, 금속판의 재료는 SM490A(용접 구조용 압연 강재)과 가정하고, 판두께는 16mm과 가정했다. SM490A의 재료 상수를 표 1에 나타낸다. 또, 시뮬레이션에서는 목적형상으로서 3종류(그릇형, 안장형, 비틀림형)을 설정했다. 1개의 선택 가열선의 위치결정에 사용하는 시행 횟수는 500회로 했다.

표 1

[0108]	영률 : 212000 MPa	포와송 비 : 0.3	밀도 : $7.81 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
--------	-----------------	-------------	---

[0109] 고유 변형을 얻기 위한 FEM 열탄소성 해석에서는 해석모델은 판 길이를 500mm, 판 폭을 500mm, 판 두께 16mm으로 하고, 절점 수 및 요소 수는 61, 711, 50, 000으로 했다. 용접조건은 전류 150A, 전압 20V, 용접속도 2.286mm/sec, 용접효율은 0.8로 했다. 그 결과 취득된 고유 변형(종 수축, 횡 수축, 종 곡률, 횡 곡률)을 표 2에 나타낸다.

표 2

[0110]	종 수축 ϵ_x : -1.135476×10^{-2}	종 곡률 ρ_x : -4.790146×10^{-4}
	횡 수축 ϵ_y : -8.340290×10^{-3}	횡 곡률 ρ_y : -3.917135×10^{-6}

- [0111] 목적형상: 그릇형
- [0112] 도 7(a)~(e)는 선택 가열선의 개수를 각각 10개, 20개, 30개, 40개, 55개로 해서 산출한 가열방안이고, 도 8(a)~(d)는 선택 가열선의 개수를 각각 10개, 20개, 30개, 40개로 해서 산출한 가열방안에 의거해서 고유 변형법에 의한 구조 해석을 실시했을 때의 해석결과이다. 도 9(a)는 구조 해석에 사용한 목적형상이고, 도 9(b)는 선택 가열선의 개수를 55개로 해서 산출한 가열방안에 의거해서 고유 변형법에 의한 구조 해석을 실시했을 때의 해석결과이다. 도 10은 도 9(a), (b)의 파선 A-A'에 있어서 목적형상과 해석결과를 비교한 면외방향 변위분포이고, 도 11은 도 9(a), (b)의 1점쇄선 B-B'에 있어서 목적형상과 해석결과를 비교한 면외방향 변위분포이다.
- [0113] 목적형상을 그릇형으로 한 시뮬레이션에서는 목적형상과 해석결과와의 오차를 평가하는 지표로 절점에서의 곡률을 채용했다. 또, 선택 가열선의 개수를 10개, 20개, 30개, 40개, 55개로 했다.
- [0114] 이 시뮬레이션에서는 도 7(a)~(e)에 나타내는 가열방안을 산출할 수 있었다. 또, 산출한 가열방안에 의거해서 고유 변형법에 의한 구조 해석을 실시한 바, 도 8(a)~(d), 도 9(b)에 나타내는 해석결과를 얻을 수 있었다. 또, 도 7의 실선은 금속판의 표면 선택 가열선을 나타내고, 점선은 금속판의 이면 선택 가열선을 나타낸다.
- [0115] 도 8(a)~(d)에서 알 수 있는 바와 같이, 선택 가열선이 10개의 시점에서 그릇형의 경향을 파악하고 있으며, 선택 가열선이 20개의 시점에서는 거의 목적형상과 일치하는 형상을 성형할 수 있음을 알 수 있다. 그 이후에서는 형상을 미세 조정, 내지는 형상에 거의 영향을 끼치지 않는 것과 같은 선택 가열선이 늘어나는 상태를 확인할 수 있었다. 또 도 7에 나타난 가열 위치에 주목하면, 모재의 대각선 방향으로 선택 많이 가열선이 배치되어 있음을 알 수 있다. 이것은 중앙부가 떨어져 패이는 것 같은 그릇형의 형상을 성형하기 위해서, 각 변형과 세로 힘의 양자를 사용해서 모재 전체를 남김없이 구부리는 것과 같은 선택 가열선의 위치가 선택된 결과라고 생각된다.
- [0116] 또, 도 9(a), (b), 도 10, 도 11로부터, 도 9(b)에 나타내는 해석결과는 목적형상의 경향을 양호하게 파악하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 발명의 산출방법에 의해 산출한 가열방안에 의거해서 금속판을 가열하는 것에 의해, 금속판을 목적형상에 가까운 형상으로 굽힘 가공할 수 있음을 알았다.
- [0117] 목적형상: 안장형
- [0118] 도 12(a)는 구조 해석에 사용한 목적형상이고, 도 12(b)는 선택 가열선의 개수를 40개로 해서 산출한 가열방안에 의거해서 고유 변형법에 의한 구조 해석을 실시했을 때의 해석결과이다. 도 13은 선택 가열선의 개수를 40개로 해서 산출한 가열방안이다. 도 14는 도 12(a), (b)의 파선 A-A'에 있어서 목적형상과 해석결과를 비교한 면외방향 변위분포이고, 도 15는 도 12(a), (b)의 1점쇄선 B-B'에 있어서 목적형상과 해석결과를 비교한 면외방향 변위분포이다.
- [0119] 목적형상을 안장형으로 한 시뮬레이션에서는 목적형상과 해석결과와의 오차를 평가하는 지표로 절점에서의 면외방향 변위량을 채용했다. 또, 선택 가열선의 개수를 40개로 했다.
- [0120] 이 시뮬레이션에서는, 도 13에 나타난 가열방안을 산출할 수 있었다. 또, 산출한 가열방안에 의거해서 고유 변형법에 의한 구조 해석을 실시한 바, 도 12(b)에 나타내는 해석결과를 얻을 수 있었다.
- [0121] 도 12, 도 14, 도 15로부터, 도 12(b)에 나타내는 해석결과는 목적형상의 경향을 양호하게 파악하고 있는 것을 확인할 수 있었다.
- [0122] 목적형상: 비틀림형
- [0123] 도 16(a)는 구조 해석에 사용한 목적형상이고, 도 16(b)은 선택 가열선의 개수를 16개로 해서 산출한 가열방안에 의거해서 고유 변형법에 의한 구조 해석을 실시했을 때의 해석결과이다. 도 17은 선택 가열선의 개수를 16개로 해서 산출한 가열방안이다. 도 18는 도 16(a), (b)의 파선 A-A'에 있어서 목적형상과 해석결과를 비교한 면외방향 변위분포이고, 도 19는 도 16(a), (b)의 1점쇄선 B-B'에 있어서 목적형상과 해석결과를 비교한 면외방향 변위분포이다.
- [0124] 목적형상을 비틀림형으로 한 시뮬레이션에서는 목적형상과 해석결과와의 오차를 평가하는 지표로 절점에서의 면외방향 변위량을 채용했다. 또, 선택 가열선의 개수를 16개로 했다.
- [0125] 이 시뮬레이션에서는 도 17에 나타난 가열방안을 산출할 수 있었다. 또, 산출한 가열방안에 의거해서 고유 변형법에 의한 구조 해석을 실시한 바, 도 16(b)에 나타내는 해석결과를 얻을 수 있었다.

- [0126] 도 16, 도 18, 도 19로부터, 도 16(b)에 나타내는 해석결과는 목적형상의 경향을 양호하게 파악하고 있는 것을 확인할 수 있었다.
- [0127] 목적형상: 그릇형(평가지표의 평가)
- [0128] 목적형상을 그릇형(도 9(a))으로 하고, 해석결과와 목적형상과의 오차를 평가하는 지표를 변위량, 곡률, 혹은 변위량과 곡률과의 양쪽으로서 구조 해석을 실시해서 가열방안을 작성했다. 도 20은 가열방안 작성과정에서의 선택 가열선의 개수 증가에 따른 해석결과와 목적형상과의 오차의 변화를 나타낸 그래프이다. 도 20의 종축 Z 변위 제곱오차 합은 절점에서의 z방향(면의 방향, 초기 금속판의 표면 및 이면에 직교하는 방향)의 변위량을 자승해서 합계한 값이다.
- [0129] 해석결과의 평가값은 식: $\text{평가값} = (\sum d^2)^{\alpha} \times (\sum r^2)^{\beta}$ 로 산출되는 것을 사용했다. $\sum d^2$ 는 해석모델에 포함되는 모든 절점의 변위량(d)을 자승해서 더한 값이고, $\sum r^2$ 는 해석모델에 포함되는 모든 절점의 곡률오차(r)를 자승해서 더한 값이다. α 및 β 는 가중치 파라미터이다. $\beta=0$ 일 때는 변위량만으로 평가를 실시하고, $\alpha=0$ 일 때는 곡률 오차만으로 평가를 실시했다. $\alpha \geq 1$, $\beta \geq 1$ 일 때는 변위량과 곡률 오차의 양쪽에서 평가를 실시하고, β 을 변화시키는 것에 의해 곡률 오차의 가중치를 변화시키고 있다.
- [0130] 곡률 오차만으로 해석결과를 평가했을 경우($\alpha=0$), 선택 가열선이 50개가 되어도 Z 변위 제곱오차 합은 100이상이었다. 변위량만으로 해석결과를 평가했을 경우($\beta=0$), 선택 가열선이 5개에까지 증가할 때까지는 Z 변위 제곱오차 합은 크게 감소했지만, 그 후는 완만하게 Z 변위 제곱오차 합이 감소했다. 또, 선택 가열선이 50개에 달해도 Z 변위 제곱오차 합은 10이상이었다.
- [0131] 변위량과 곡률 오차와의 양쪽에서 해석결과를 평가했을 경우($\alpha \geq 1$, $\beta \geq 1$), 곡률 오차만으로 평가했을 경우 및 변위량만으로 평가했을 경우에 비해, Z 변위 제곱오차 합은 작아졌다. 특히, $\beta=6$ 또는 $\beta=8$ 로 한 해석에서는 Z 변위 제곱오차 합이 1 이하가 되었다.
- [0132] 목적형상: 복잡형상(분할 수의 평가)
- [0133] 도 21, 도 22에 나타내는 바와 같은 복잡한 형상을 목적형상으로 해서 구조 해석을 실시하고 가열방안을 작성했다. 이 목적형상에서는 블록부(16)와 오목부(17)가 교호로 배치되어 있다. 이 구조 해석에서는 해석결과와 목적형상과의 오차를 평가하는 지표로서 변위량을 사용하고 있다. 또, 이 구조 해석에서는 해석결과 및 목적형상을 4분할, 16분할 또는 64분할해서 각 블록마다 해석결과와 목적형상을 비교해서 평가값을 산출했다. 또, 각 블록마다 해석결과와 목적형상을 비교할 때에 해석결과의 방향과 목적형상의 방향이 동일하게 되도록 해석결과 및 목적형상을 회전시켜서 비교하고 있다. 또, 분할 없이의 구조 해석도 실시했다.
- [0134] 구체적으로는, 해석결과를 평가할 때에 식: $\text{평가값} = (\text{전체의 제곱오차 합})^{\alpha} \times \sum (\text{각 블록에서의 제곱오차 합})^{\beta}$ 를 사용해서 평가값을 산출하고, 평가값이 작은 시행에서의 선택 가열선을 선택했다. 제곱오차 합은 절점에서의 z방향(면의방향, 초기 금속판의 표면 및 이면에 직교하는 방향)의 변위량을 자승해서 합계한 값이다. 또, 상기 식에서의 「전체의 제곱오차 합」은 전체적인 형상의 유지에 기여하는 값이고, 상기 식에서의 「각 블록에서의 제곱오차 합」은 국부적인 형상을 작성하는데 기여하는 값이다. 또, α 는 전체적인 오차의 가중치이고, β 은 국부적인 오차의 가중치이다.
- [0135] 도 23은 구조 해석에 의해 작성한 가열방안(선택 가열선: 200개)이다. 도 24에는 작성한 가열방안을 사용한 구조 해석의 결과(작성 형상)와, 구조 해석의 결과와 목적형상과의 차분을 나타내고 있다. 또, 도 25는 가열방안 작성과정에서의 선택 가열선의 개수 증가에 따른 해석결과와 목적형상과의 오차(Z 변위 제곱오차 합)의 변화를 나타낸 그래프이다. 이것들의 해석에서는 $\alpha=1$, $\beta=12$ 로 하고 있다.
- [0136] 도 25에 나타낸 그래프와 같이, 분할하지 않고 평가값을 산출한 구조 해석(분할 없음)에서는 선택 가열선이 200개가 되어도 Z 변위 제곱오차 합이 200 이상이었지만, 분할수가 증가함에 따라 Z 변위 오차제곱 합이 작아지고 있고, 64분할해서 산출한 구조 해석에서는 선택 가열선이 200개가 되면, Z 변위 오차제곱 합이 약 10으로까지 작아졌다. 또, 도 24와 같이, 분할 수가 증가함에 따라서 차분이 분명하게 작아졌다.
- [0137] 목적형상: 그릇형(분할 수의 평가)
- [0138] 목적형상을 그릇형(도 9 (a))으로서, 해석결과와 목적형상과의 오차를 평가하는 지표를 변위량으로 해서 구조 해석을 실시하고 가열방안을 작성했다. 이 구조 해석에서는 해석결과 및 목적형상을 4분할, 16분할, 64분할 또는 100분할하고, 각 블록마다 해석결과와 목적형상을 비교해서 평가값을 산출했다. 평가값은 식: $\text{평가값} = \sum$

(각 블록에서의 제공오차 합)을 사용해서 산출했다. 또, 평가값을 전체의 제공오차 합으로 해서 분할 없음의 구조 해석도 실시했다.

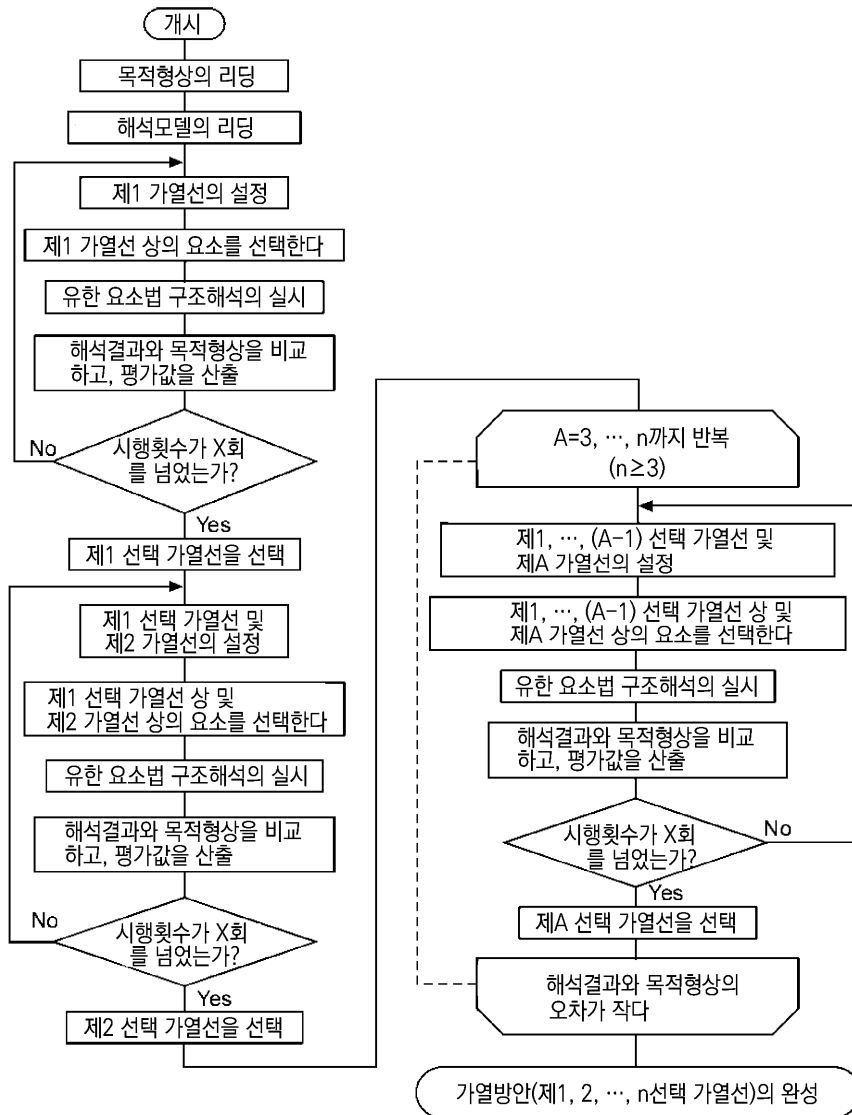
- [0139] 도 26(a)는 분할하지 않고 해석결과를 평가해서 구조 해석을 실시해 작성한 가열방안(선택 가열선: 60개)을 사용한 구조 해석의 결과(작성 형상)이고, 도 26(b)는 이 구조 해석의 결과와 목적형상과의 오차이다.
- [0140] 도 27(a)는 해석결과 및 목적형상을 100분할해서 해석결과를 평가해서 구조 해석을 실시하고 작성한 가열방안(선택 가열선: 60개)을 사용한 구조 해석의 결과(작성 형상)이고, 도 27(b)는 이 구조 해석의 결과와 목적형상과의 오차이다.
- [0141] 도 28은 가열방안 작성과정에서의 선택 가열선의 개수 증가에 따른 해석결과와 목적형상과의 오차(Z 변위 제공오차 합)의 변화를 나타낸 그래프이다.
- [0142] 도 28과 같이 분할 없이 해석결과를 평가한 구조 해석에서는 선택 가열선의 개수가 60개가 되어도 Z 변위 오차 합이 약 30이고, 이 구조 해석에서 수득된 가열방안을 사용하면 도 26과 같은 찌그러진 그릇형이 형성되었다. 또, 도 28과 같이 분할 수가 많아지면 Z 변위 오차 합도 작아지고, 해석결과 및 목적형상을 100분할해서 해석결과를 평가한 구조 해석에서는 선택 가열선의 개수가 60개로 Z 변위 오차 합이 약 3으로까지 작아졌다. 또, 도 27과 같이 이 구조 해석에서 수득된 가열방안을 사용하면 깨끗한 그릇형을 형성할 수 있었다. 이것들의 결과로 분할 수는 클 수록 뛰어난 가열방안이 수득되는 것을 알았다.
- [0143] 목적형상: 그릇형(가중치 파라미터의 평가)
- [0144] 목적형상을 그릇형(도 9(a))으로서, 해석결과와 목적형상과의 오차를 평가하는 지표를 변위량으로 해서 구조 해석을 실시해 가열방안을 작성했다. 이 구조 해석에서는, 해석결과 및 목적형상을 64분할하고, 각 블록마다 해석결과와 목적형상을 비교해서 평가값을 산출했다. 평가값은 식: 평가값 = (전체의 제공오차 합)^α × ∑(각 블록에서의 제공오차 합)^β를 사용해서 산출했다. α는 전체적인 오차의 가중치이고, β는 국부적인 오차의 무게이다. α를 0또는 1로 하고, β를 0, 1, 2, 4, 8, 16 또는 32로 했다.
- [0145] 도 29는 가열방안 작성과정에서의 선택 가열선의 개수 증가에 따른 해석결과와 목적형상과의 오차(Z 변위 제공오차 합)의 변화를 나타낸 그래프이다. 또, 도 29에 α 및 β를 나타냈다. 이것들의 결과에 의해 β를 8정도로 하면 뛰어난 가열방안이 수득되는 것을 알았다.

부호의 설명

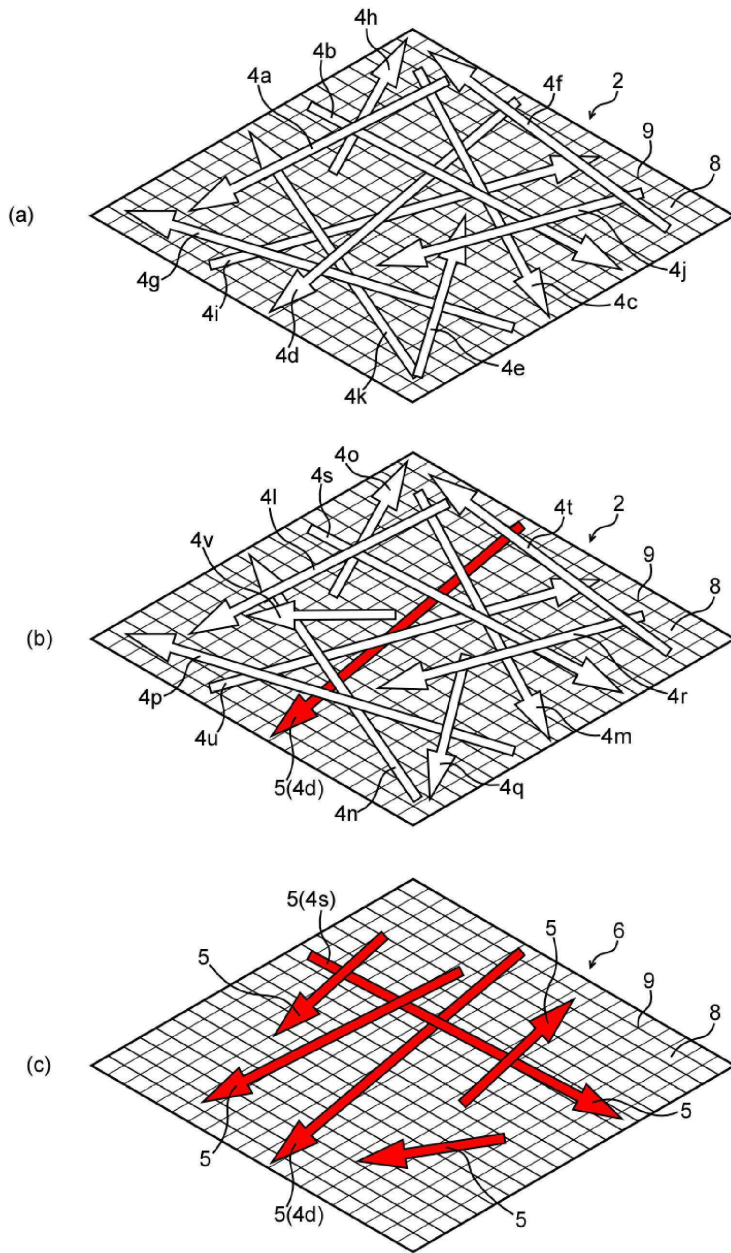
- [0146] 2: 해석모델
- 3: 해석결과
- 4, 4a~4V: 가열선
- 5: 선택 가열선
- 6: 가열방안
- 8: 요소
- 9: 절점
- 10: 목적형상
- 11: 목적형상의 요소
- 12: 목적형상의 절점
- 13: 해석결과와 목적형상의 변위량
- 16: 블록부
- 17: 오목부
- 19: 최소자승 직선(회귀직선)

도면

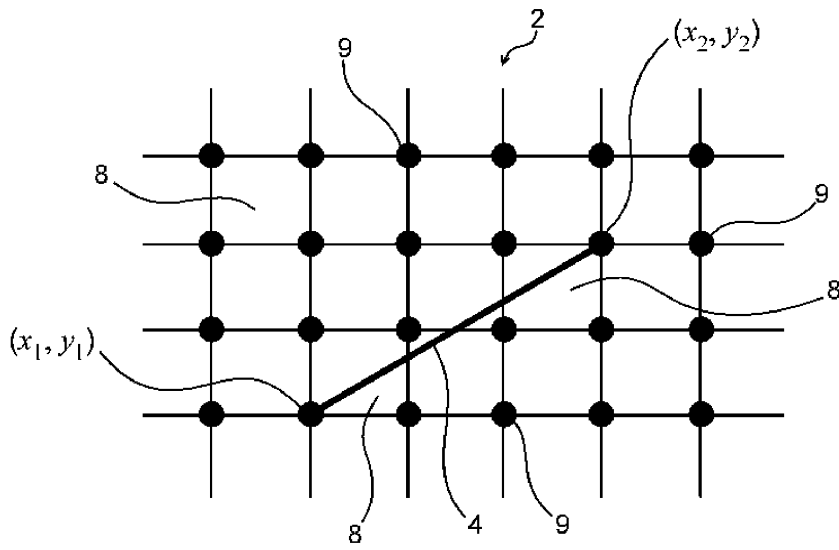
도면1



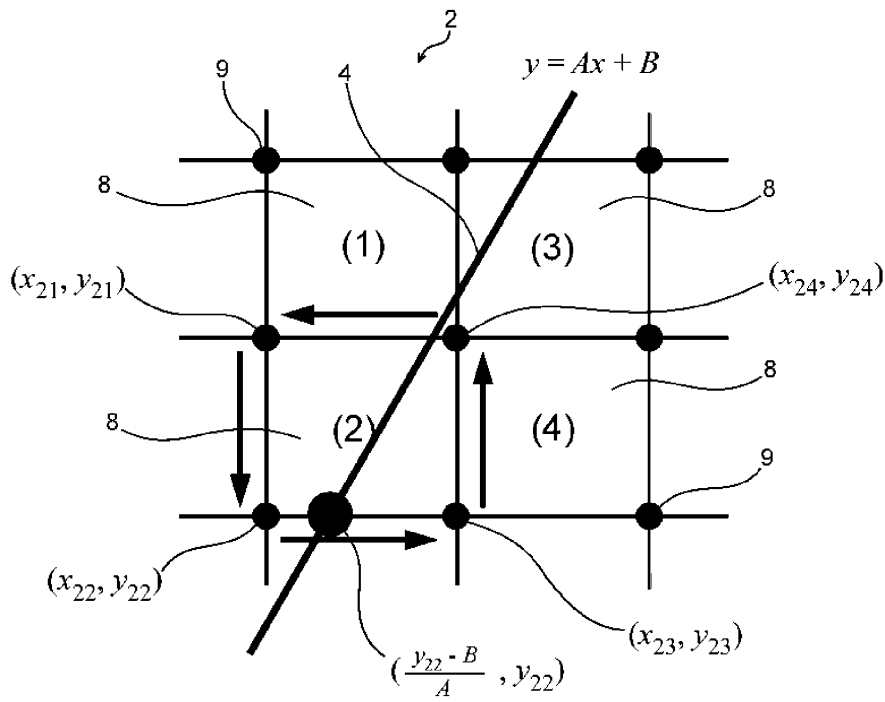
도면2



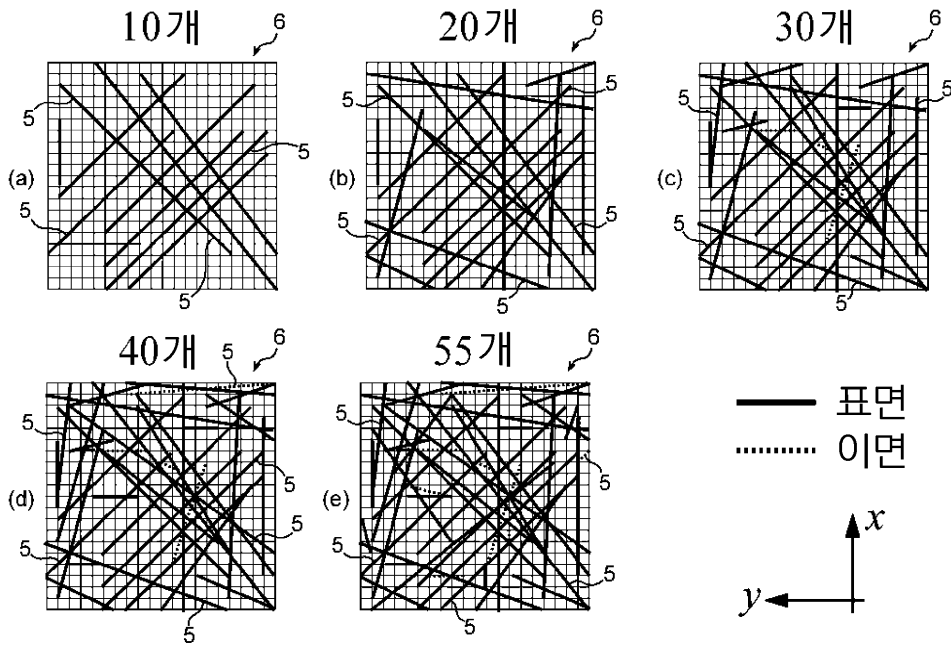
도면3



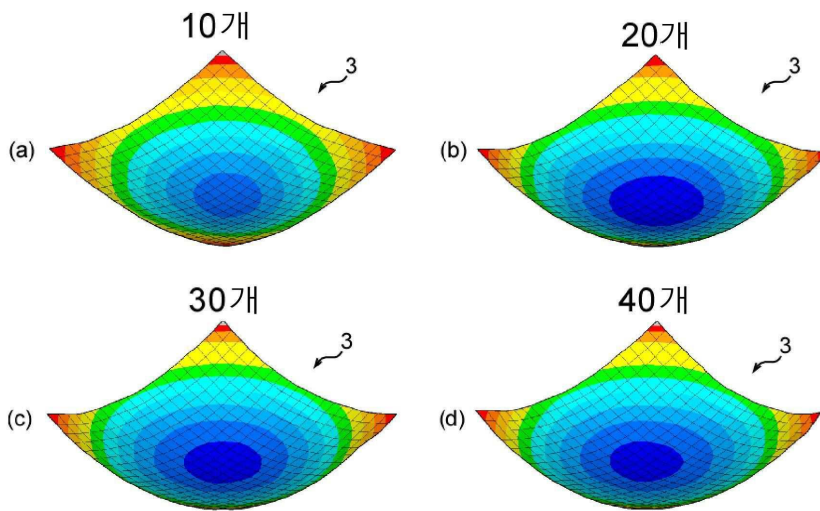
도면4



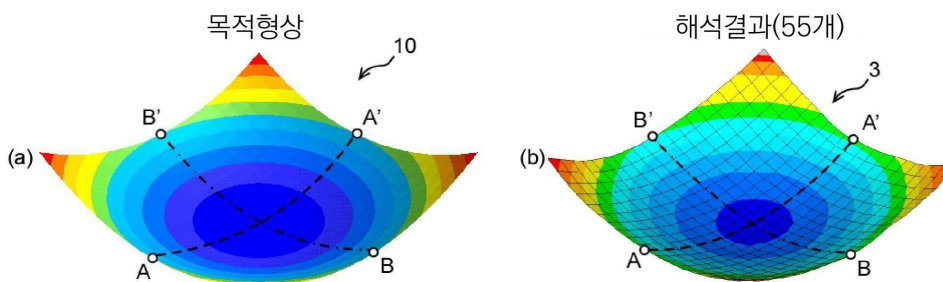
도면7



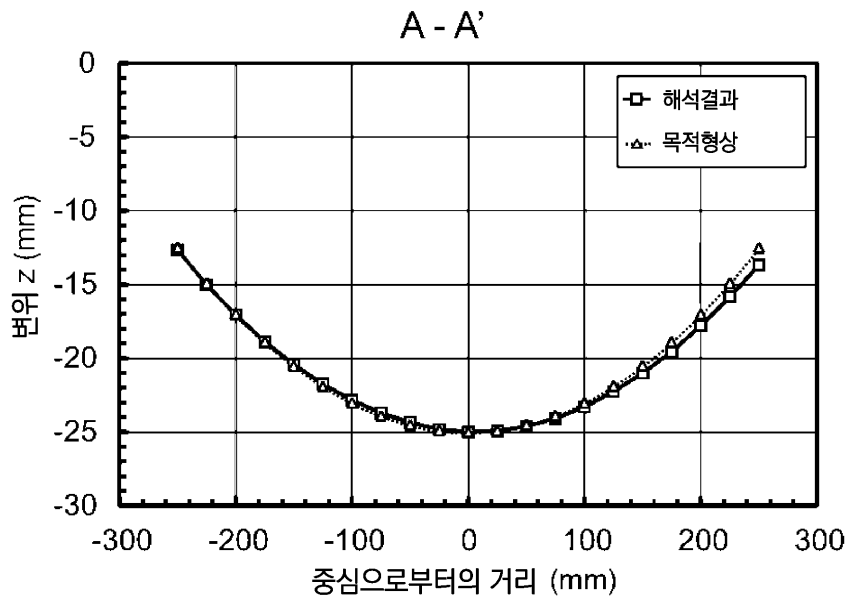
도면8



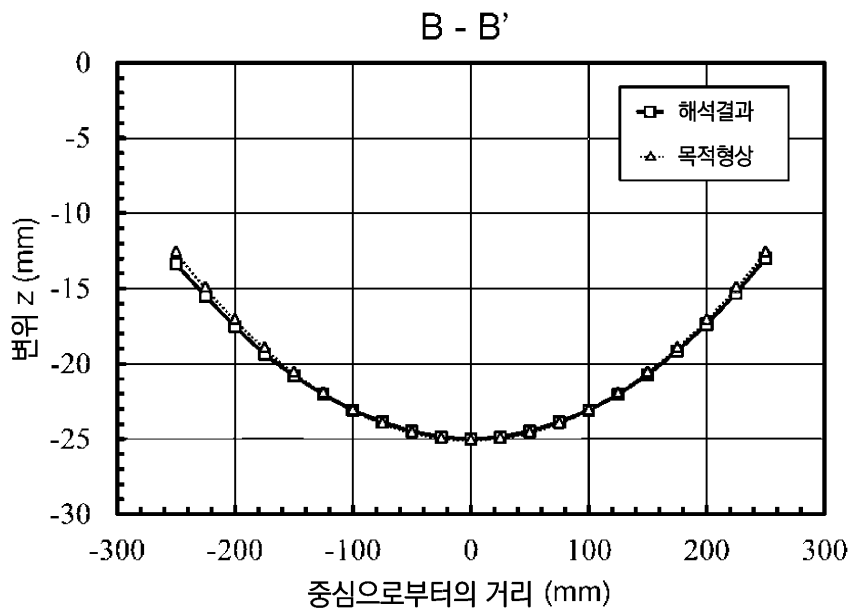
도면9



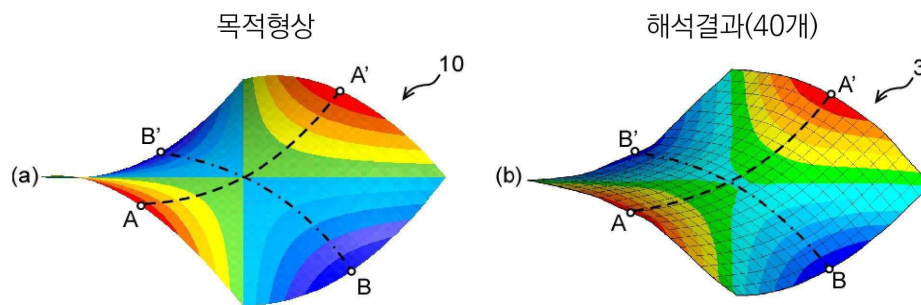
도면10



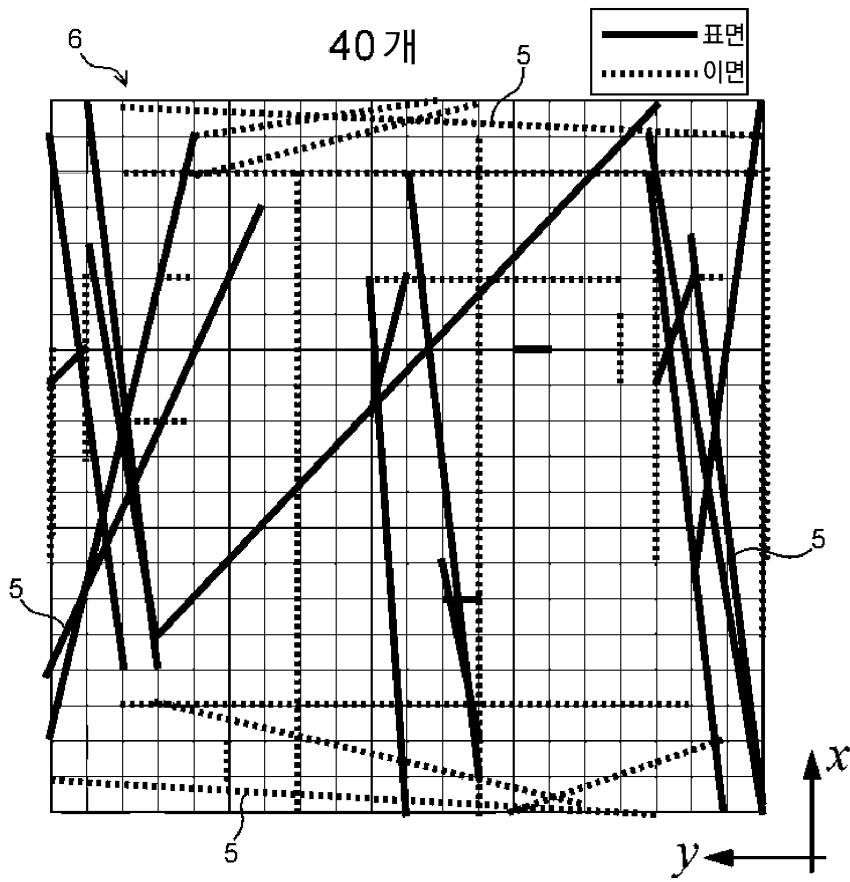
도면11



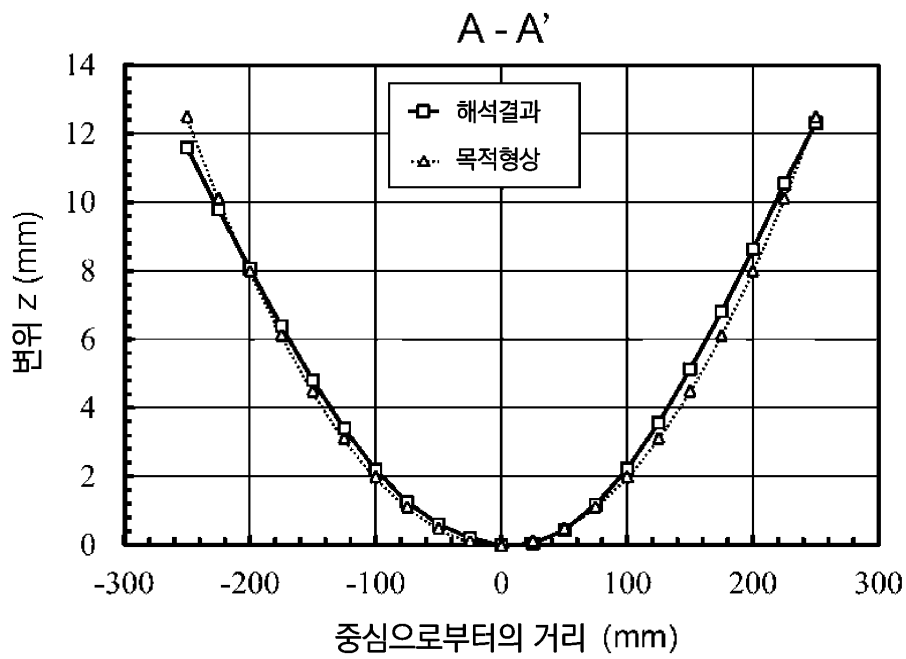
도면12



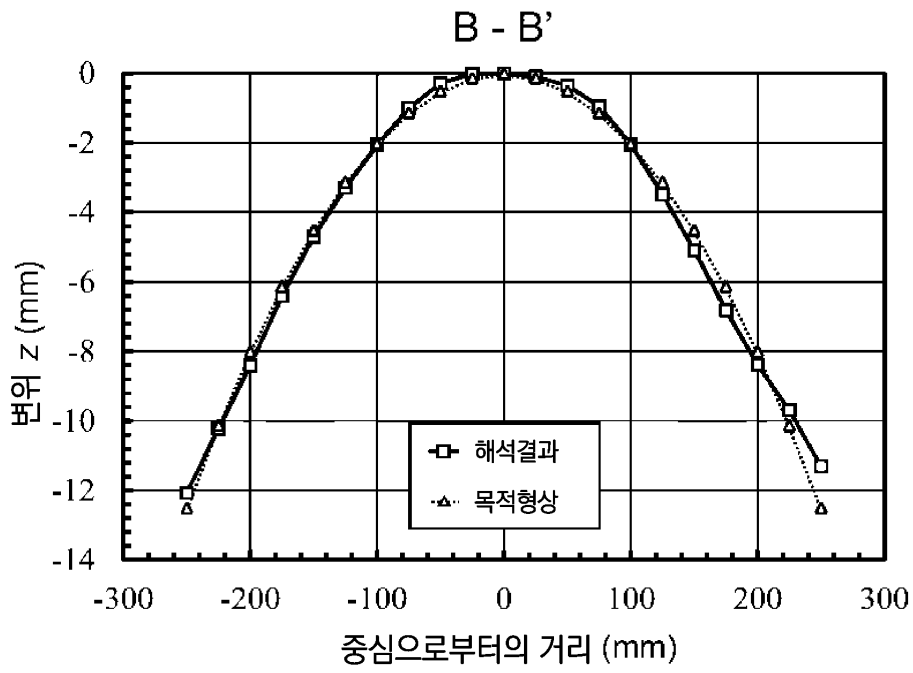
도면13



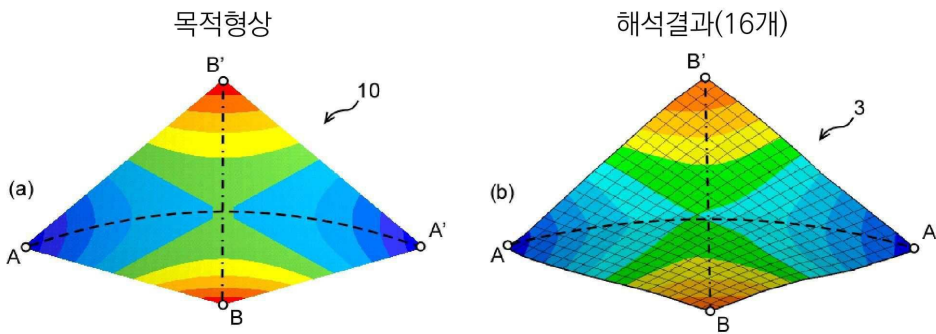
도면14



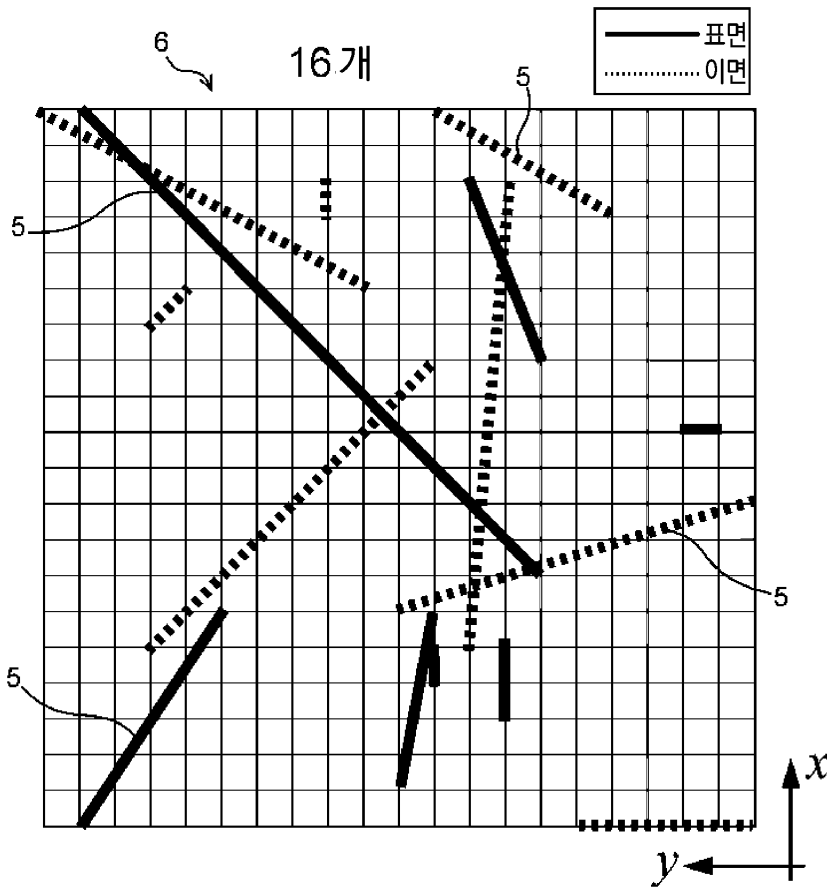
도면15



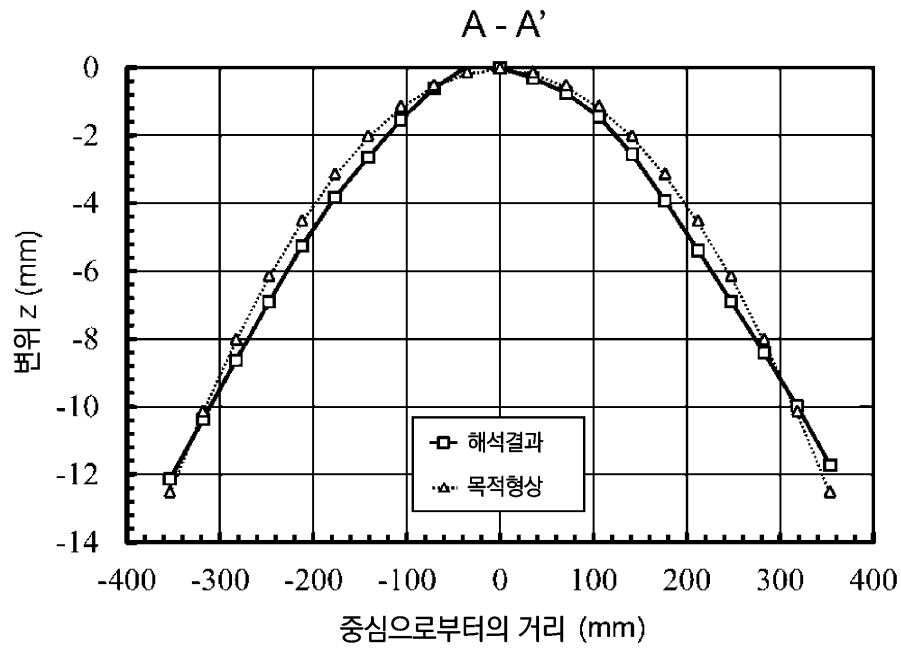
도면16



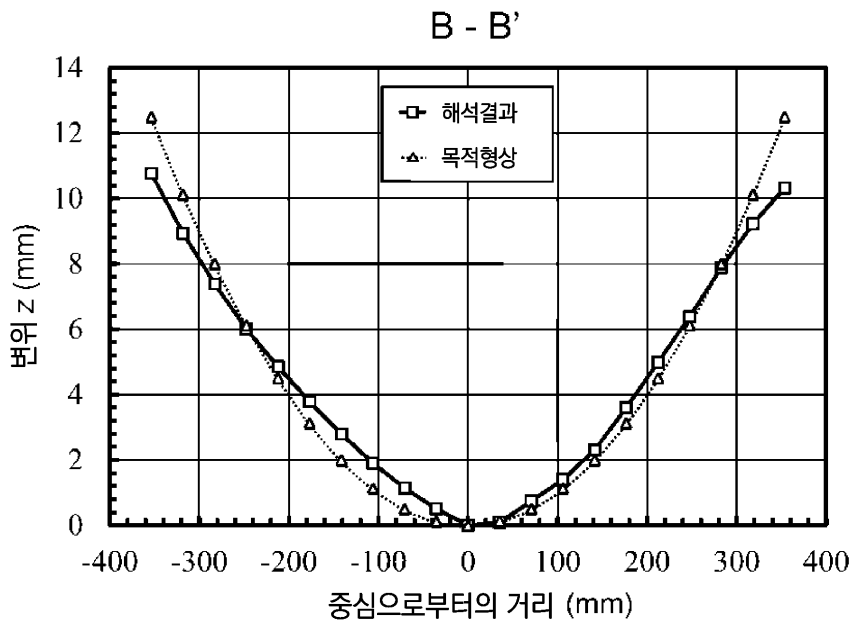
도면17



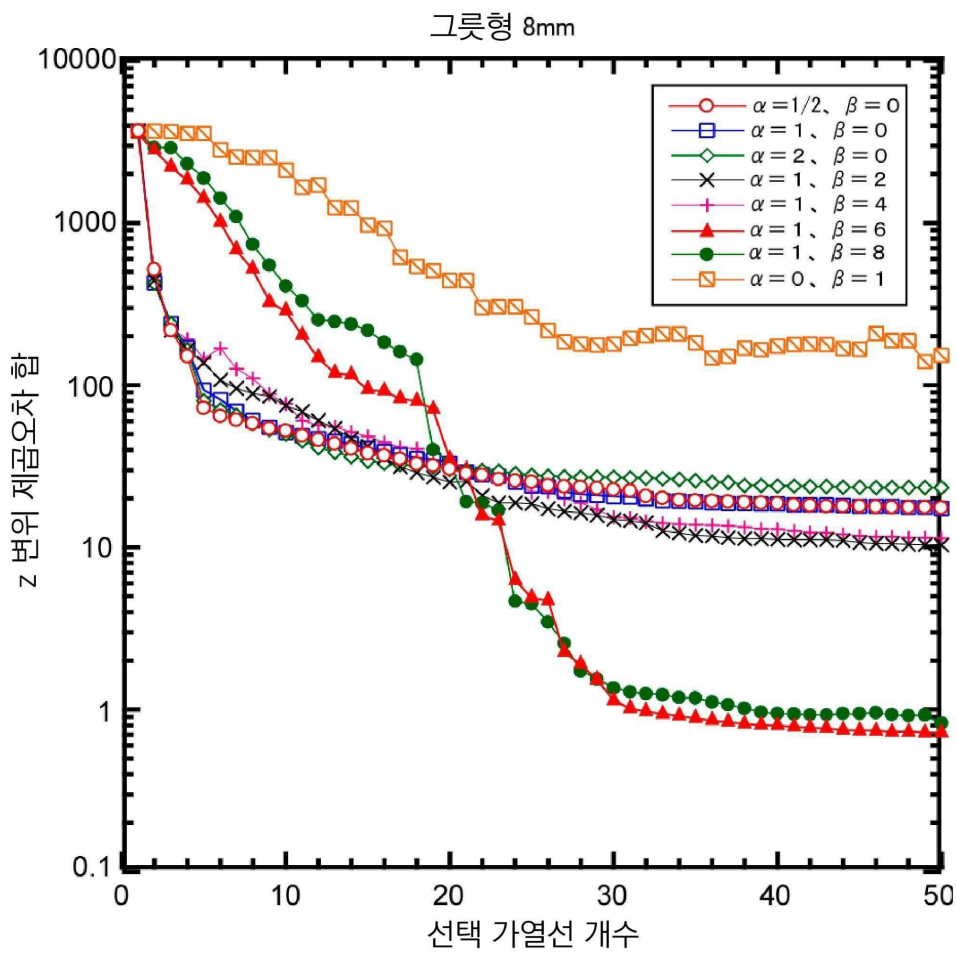
도면18



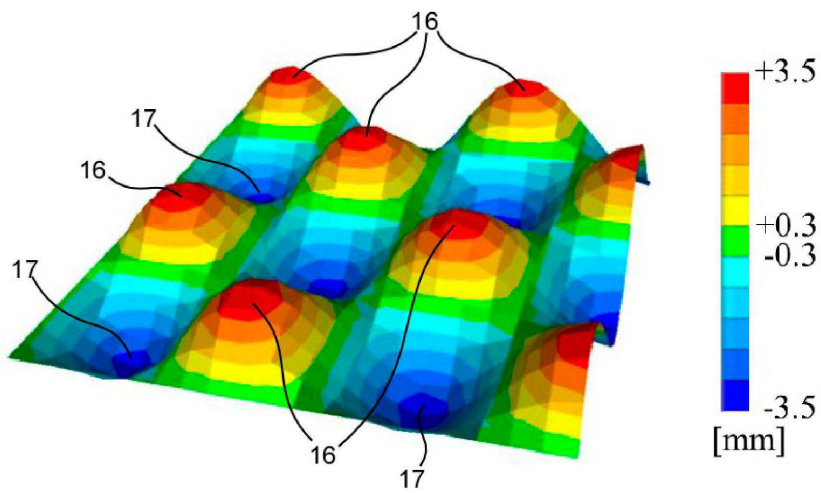
도면19



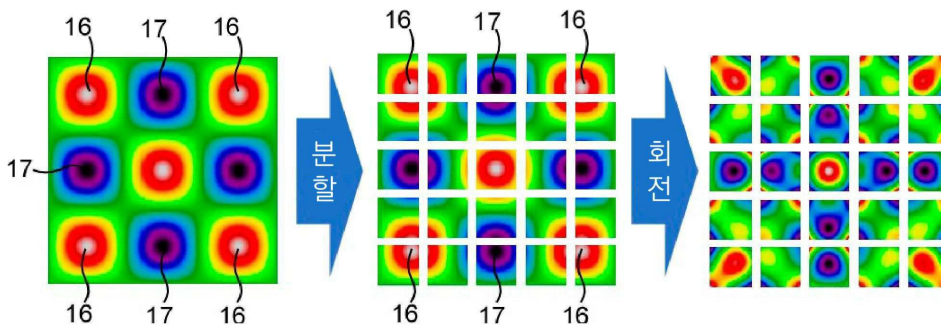
도면20



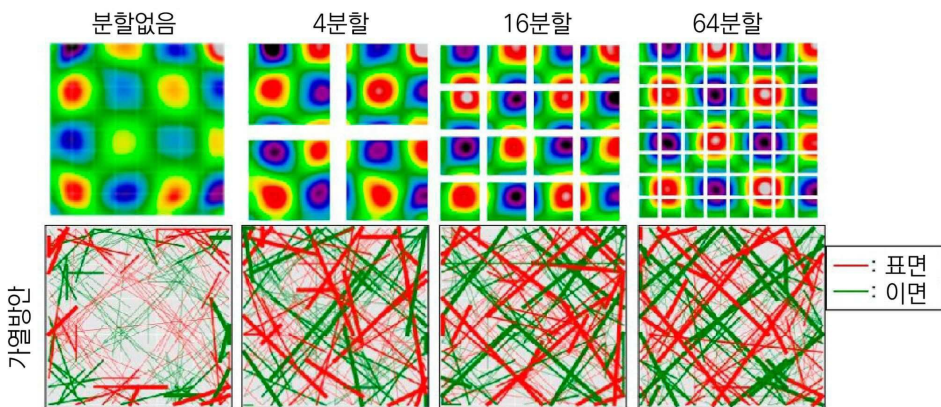
도면21



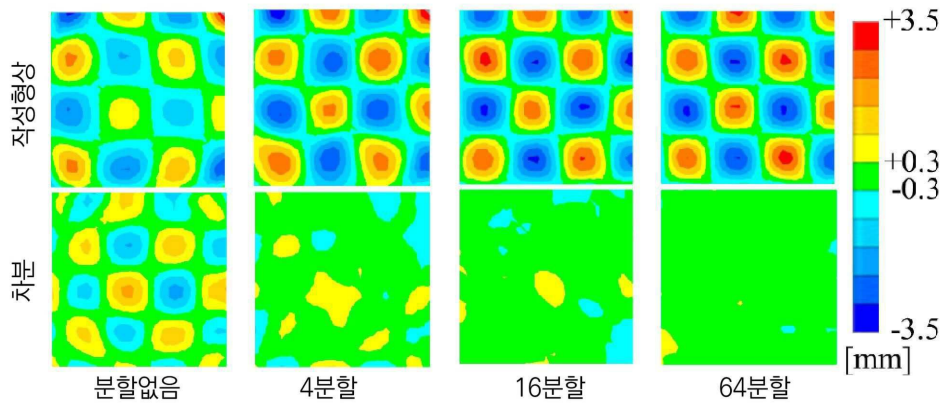
도면22



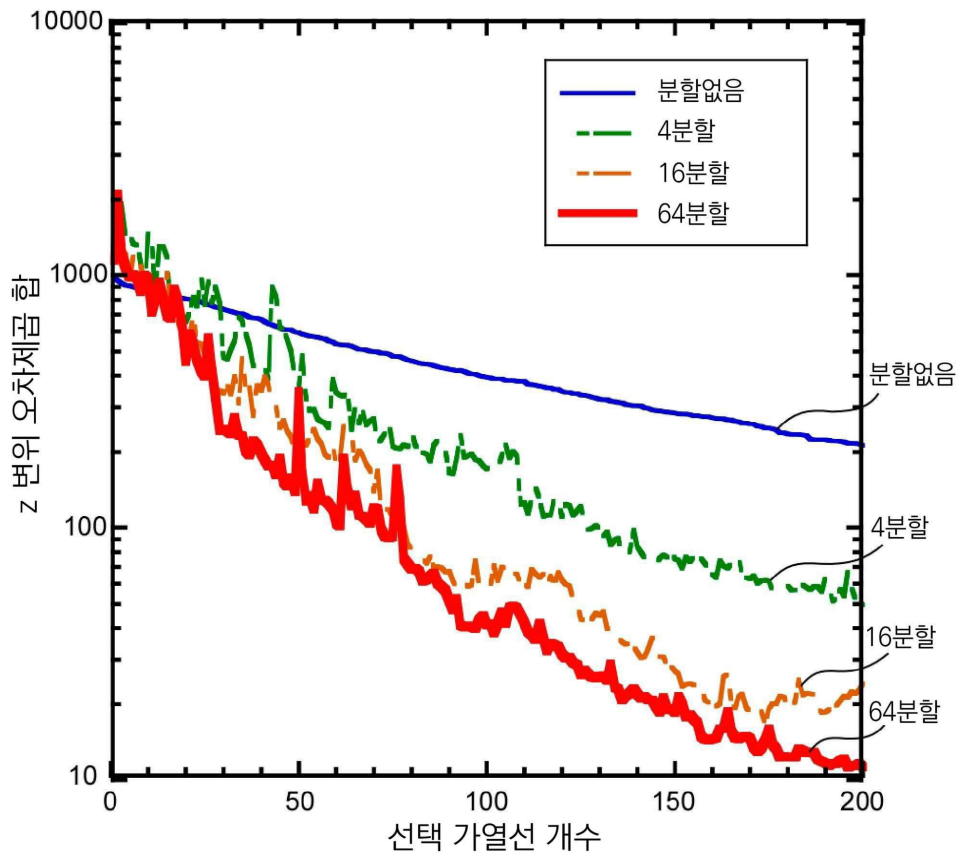
도면23



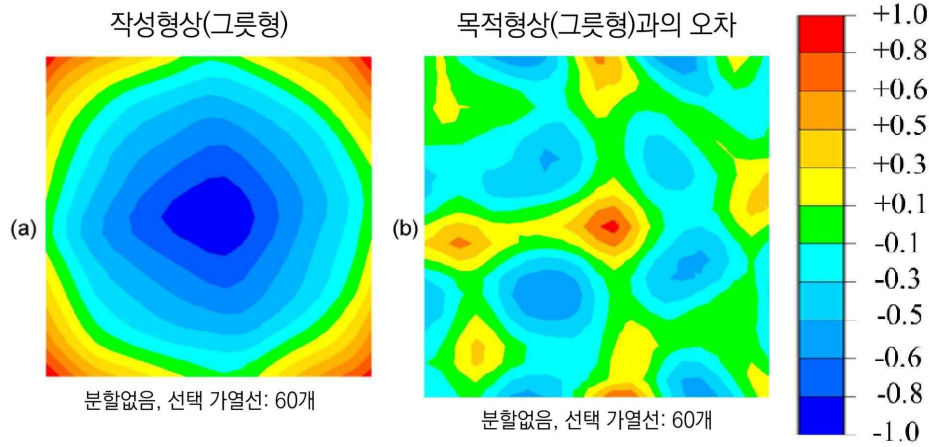
도면24



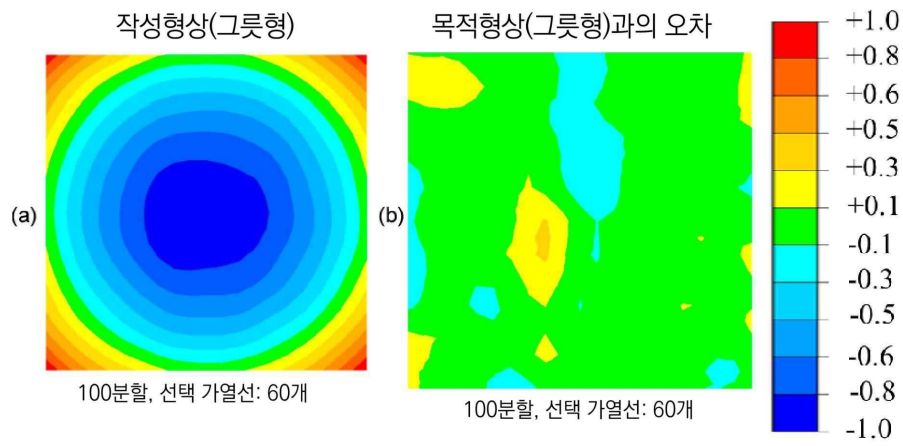
도면25



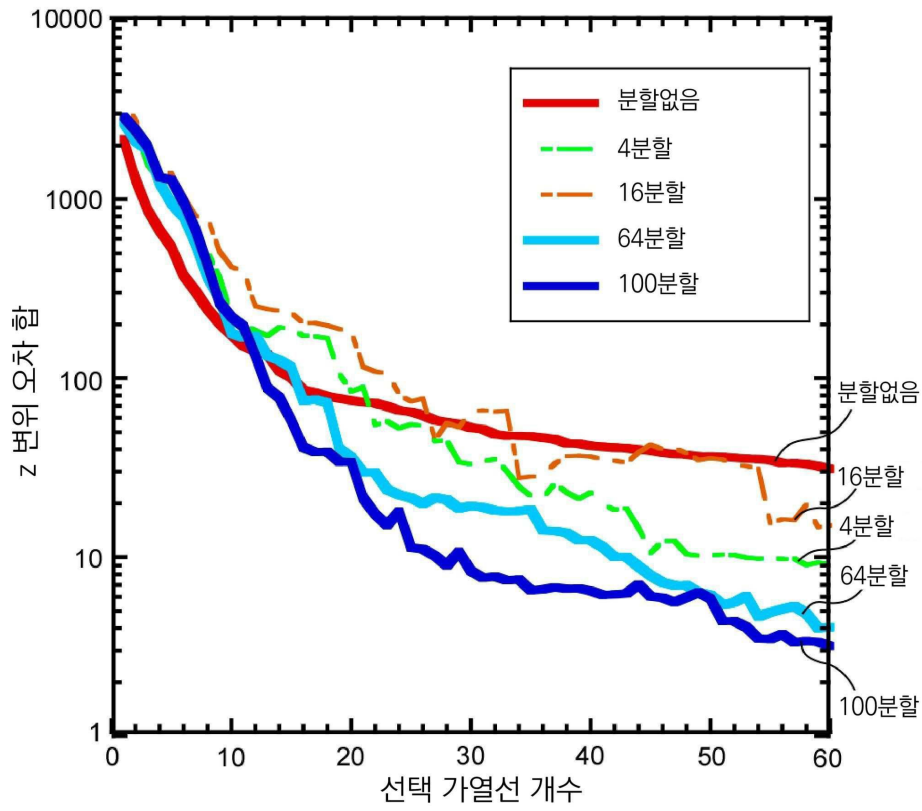
도면26



도면27



도면28



도면29

