



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0047810  
(43) 공개일자 2020년05월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G06F 30/00 (2020.01) B21J 1/00 (2006.01)  
B21K 1/30 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G06F 30/20 (2020.01)  
B21J 1/00 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-0126689  
(22) 출원일자 2018년10월23일  
심사청구일자 2018년10월23일

(71) 출원인  
울산대학교 산학협력단  
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)  
(72) 발명자  
박홍석  
울산광역시 중구 운곡3길 24, 101동 1305호 (다운동, 삼성아파트)  
페브리아니 리스키 아유  
울산광역시 남구 대학로 93 기계공학관 (무거동, 울산대학교)  
(74) 대리인  
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 9 항

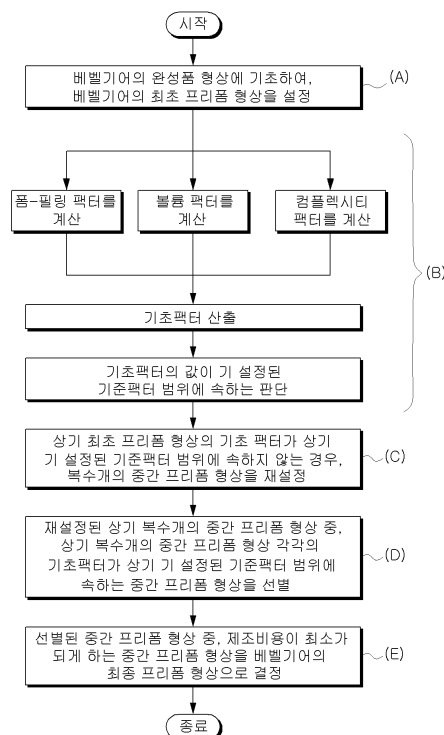
(54) 발명의 명칭 프리폼형상 설계방법

(57) 요약

본 발명은, 베벨기어의 프리폼(pre-form) 형상을 설계하는 방법으로서, (A) 베벨기어의 완성품 형상에 기초하여, 베벨기어의 최초 프리폼 형상을 설정하는 단계; (B) 프리폼 형상이 상기 완성품 형상의 베벨기어를 제조할 수 있는 양의 부피를 갖는지를 나타내는 폼-필링(Form-filling) 팩터와, 프리폼 형상 중 불필요한 부피의 정도를 나타

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



내는 볼륨(Volume) 팩터와, 프리폼 형상의 복잡한 정도를 나타내는 컴플렉시티(Complexity) 팩터를 포함하는 기초 팩터에 기초하여, 상기 최초 프리폼 형상의 기초 팩터가 기 설정된 기준팩터 범위에 속하는지 여부를 판단하는 단계; (C) 상기 최초 프리폼 형상의 기초 팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 속하지 않는 경우, 복수개의 중간 프리폼 형상을 재설정하는 단계; (D) 재설정된 상기 복수개의 중간 프리폼 형상 중, 상기 복수개의 중간 프리폼 형상 각각의 기초팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 속하는 중간 프리폼 형상을 선별하는 단계; 및 (E) 선별된 중간 프리폼 형상 중, 제조비용이 최소가 되게 하는 중간 프리폼 형상을 베벨기어의 최종 프리폼 형상으로 결정하는 단계를 포함하는 프리폼형상 설계방법을 제공한다.

(52) CPC특허분류

**B21K 1/30** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2018-0047

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 전자시스템전문기술개발사업-장비연계형 3D프린팅소재기술개발

연구과제명 냉각효율이 50%향상된 사출성형 금형 제작을 위한 복합가공 3D프린팅 장비 및 30 $\mu$ m급 금형

강 분말 제조기술 개발(2)

기 여 율 60/100

주관기관 원포시스(주)

연구기간 2016.05.01 ~ 2018.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2018-0712

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터

연구사업명 IT·SW융합산업원천기술개발사업

연구과제명 ICT 기반의 의료용 3D프린팅 응용SW플랫폼 및 서비스 기술개발(5)

기 여 율 40/100

주관기관 경북대학교 산학협력단

연구기간 2014.08.01 ~ 2024.07.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

베벨기어의 프리폼(pre-form) 형상을 설계하는 방법에 있어서,

(A) 베벨기어의 완성품 형상에 기초하여, 베벨기어의 최초 프리폼 형상을 설정하는 단계;

(B) 프리폼 형상이 상기 완성품 형상의 베벨기어를 제조할 수 있는 양의 부피를 갖는지를 나타내는 폼-필링(Form-filling) 팩터와, 프리폼 형상 중 불필요한 부피의 정도를 나타내는 볼륨(Volume) 팩터와, 프리폼 형상의 복잡한 정도를 나타내는 컴플렉시티(Complexity) 팩터를 포함하는 기초 팩터에 기초하여, 상기 최초 프리폼 형상의 기초 팩터가 기 설정된 기준팩터 범위에 속하는지 여부를 판단하는 단계;

(C) 상기 최초 프리폼 형상의 기초 팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 속하지 않는 경우, 복수개의 중간 프리폼 형상을 재설정하는 단계;

(D) 재설정된 상기 복수개의 중간 프리폼 형상 중, 상기 복수개의 중간 프리폼 형상 각각의 기초팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 속하는 중간 프리폼 형상을 선별하는 단계; 및

(E) 선별된 중간 프리폼 형상 중, 제조비용이 최소가 되게 하는 중간 프리폼 형상을 베벨기어의 최종 프리폼 형상으로 결정하는 단계를 포함하는 프리폼형상 설계방법.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 A 단계는, 상기 완성품 형상보다 더 크되, 직경 및 높이가 서로 동일한 비율로 증가하도록 상기 최초 프리폼 형상을 설정하는 프리폼형상 설계방법.

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 C 단계는, 상기 최초 프리폼 형상의 기초 팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 속하는 경우, 상기 최초 프리폼 형상을 베벨기어의 최종 프리폼 형상으로 결정하는 프리폼형상 설계방법.

#### 청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 D 단계는, 기 설정된 기준형상 범위 내에서, 유전적 알고리즘(Genetic algorithm)에 기초하여 상기 복수개의 중간 프리폼 형상을 재설정하는 프리폼형상 설계방법.

#### 청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 E 단계는, 선별된 중간 프리폼 형상 중, 컴플렉시티 팩터가 가장 작은 값을 나타내는 중간 프리폼 형상을 베벨기어의 최종 프리폼 형상으로 결정하는 프리폼형상 설계방법.

#### 청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 기초 팩터는, 상기 폼-필링 팩터에 상기 볼륨 팩터와 상기 컴플렉시티 팩터를 뺀 값으로 나타나는 프리폼형상 설계방법.

#### 청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 폼-필링 팩터는, 상기 최초 프리폼 형상 및 상기 완성품 형상이 각각 높이 방향을 따라 서로 동일한 간격으로 이격되는 K개의 가상의 수평면에 의해 나누어지고, 하기 수학식 1에 기초하여 n번째 수평면에 대한 단위 폼-필링 팩터가 산출된 후, 하기 수학식 2에서 산출된 값으로 결정되는 프리폼형상 설계방법 :

[수학식 1]

$$F_{filling,n} = 0 \text{ if, } \frac{A_{i,n}}{A_{Fp,n}} < a$$

$$F_{filling,n} = \frac{A_{i,n}}{A_{Fp,n}} - a \text{ if, } a \leq \frac{A_{i,n}}{A_{Fp,n}} \leq a+1 \text{ 고, } L \text{은 추후 완성품 형상의 제조 시 기어이(Gear tooth)가 형성될 부분의 높이임,}$$

$$F_{filling,n} = 1 \text{ if, } \frac{A_{i,n}}{A_{Fp,n}} > a+1$$

여기서,  $F_{filling,n}$ 은 n번째 수평면에서의 단위 폼-필링 팩터이며,  $A_{i,n}$ 은 n번째 수평면에서의 최초 프리폼 형상의 단면적이고,  $A_{Fp,n}$ 은 n번째 수평면에서의 완성품 형상의 단면적이며,  $a$ 는 실험보정계수임,

[수학식 2]

$$F_{filling,i} = \frac{1}{K} \sum_{n=1}^K F_{filling,n}$$

여기서,  $F_{filling,i}$ 는 폼-필링 팩터임.

## 청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 볼륨 팩터는, 상기 최초 프리폼 형상이 높이 방향을 따라 서로 동일한 간격으로 이격되는 K개의 가상의 수평면에 의해 나누어진 후, 하기의 수학식 3 및 수학식 4에 의해 계산되는 프리폼형상 설계방법 :

[수학식 3]

$$V_i = \sum_{n=1}^{K-1} \frac{L \times \pi}{(K-1) \times 3} (r_n^2 + r_n \times r_{n+1} + r_{n+1}^2)$$

$$V_{min} = \pi \times r_{min}^2 \times L \text{ and } V_{max} = \pi \times r_{max}^2 \times L$$

여기서,  $r_n$ 은 최초 프리폼 형상의 n번째 수평면에서의 단면의 반지름이며,  $r_{min}$ 은 K개의 가상의 수평면에 의해 잘라진 최초 프리폼 형상의 단면의 반지름 중 최소값이며,  $r_{max}$ 은 K개의 가상의 수평면에 의해 잘라진 최초 프리폼 형상의 단면의 반지름 중 최대값이고,  $L$ 은 추후 완성품 형상의 제조 시 최초 프리폼 형상에 있어서 기어이(Gear tooth)가 형성될 부분의 높이임,

[수학식 4]

$$F_{volume,i} = \frac{V_i - V_{Fp}}{V_{min} - V_{Fp}} \text{ if, } \frac{V_i}{V_{Fp}} \leq 1$$

$$F_{volume,i} = \frac{V_{Fp} - V_i}{V_{Fp} - V_{max}} \text{ if, } \frac{V_i}{V_{Fp}} \geq 1$$

여기서,  $V_{Fp}$ 는 완성품 형상의 부피이며,  $F_{volume,i}$ 는 볼륨 팩터임.

## 청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 컴플렉시티 팩터는, 상기 최초 프리폼 형상이 높이 방향을 따라 서로 동일한 간격으로 이격되는 K개의 가상의 수평면에 의해 나누어진 후, 하기의 수학식 5 및 수학식 6에 의해 계산되는 프리폼형상 설계방법 :

[수학식 5]

$$C_i = \sum_{n=1}^{K-1} \sqrt{(r_n - r_{n+1})^2 + (\frac{L}{K-1})^2}$$

$$C_{\min} = L \quad \text{and} \quad C_{\max} = \sum_{n=1}^{K-1} \sqrt{(r_{\max} - r_{\min})^2 + (\frac{L}{K-1})^2}$$

여기서,  $r_n$ 은 최초 프리폼 형상의 n번째 수평면에서의 단면의 반지름이며,  $r_{\min}$ 은 K개의 가상의 수평면에 의해 잘라진 최초 프리폼 형상의 단면의 반지름 중 최소값이며,  $r_{\max}$ 은 K개의 가상의 수평면에 의해 잘라진 최초 프리폼 형상의 단면의 반지름 중 최대값이고, L은 추후 완성품 형상의 제조 시 최초 프리폼 형상에 있어서 기어이 (Gear tooth)가 형성될 부분의 높이임,

[수학식 6]

$$F_{\text{complexity},i} = \frac{C_i - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}}$$

여기서,  $F_{\text{complexity},i}$ 는 컴플렉시티 팩터임.

## 발명의 설명

## 기술 분야

[0001] 본 발명은 프리폼형상 설계방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 온간 단조에 의해 제조되는 베벨기어의 프리폼 형상을 설계하는 방법에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0002] 일반적으로, 베벨기어(bevel gear)란 서로 교차하는 두 축 사이에서 힘을 전달할 때 사용되는 원뿔대 형상의 기어를 의미한다. 베벨기어는, 테이퍼 롤러 베어링에 지지된 구동 피니언이 링 기어의 중심 선상에 위치하여 회전력을 전달하므로, 이물림 비율이 크고 전동 효율이 높아 회전이 원활하며 마멸도 적다는 장점이 있다. 이러한 베벨기어는, 기어선의 상태에 따라 직선 베벨기어, 곡선 베벨기어, 제롤 베벨기어 등으로 분류될 수 있다.

[0003] 베벨기어는, 미리 제조된 프리폼 형상에 단조(Forging) 공정을 적용함으로써 제조된다. 프리폼(pre-form)이란 완성된 제품을 만들기 위해 사전에 제조된 가(假)성형품을 의미한다. 프리폼은 완성된 제품의 형상과 완전히 동일하게 제조되지는 않으며, 사용되는 공법에 따라 그 형상은 다양하게 설계될 수 있다.

[0004] 상기와 같은 베벨기어를 제조하기 위한 단조 공정으로는, 열간 단조(Hot forging)와 온간 단조(Warm forging)이 있다. 열간 단조는, 프리폼을 1200도 내지 1250도의 고온으로 균일하게 가열한 후, 형틀의 내부에 삽입하여 압착하는 방식으로 완성품을 제조한다. 이때, 열간 단조의 경우, 프리폼을 고온으로 가열하기 때문에 이를 변형시켜 완성품을 성형하기는 쉬우나, 프리폼의 온도가 점점 내려감에 따라 프리폼의 각 부위별로 수축되는 정도가 달라지므로, 제조된 완성품의 정밀도가 떨어진다는 단점이 있다. 또한, 열간 단조의 경우, 프리폼의 표면과 내부가 동일하게 고온을 나타내므로, 그 내부에 단압력(鍛壓力, Upsetting pressure)이 효과적으로 가해지지 않을 뿐만 아니라, 프리폼을 고온으로 유지시키기 위해 비용이 과다하게 소요된다는 단점도 존재한다.

[0005] 온간 단조는, 프리폼의 표면의 온도를 700도 내지 800도로 유지하고, 프리폼 내부의 온도를 950도 내지 1150도로 유지한 상태에서, 형틀로 프리폼을 압착시켜 완성품을 제조하는 공법이다. 이러한 온간 단조는, 프리폼 표면의 온도가 어느 정도 식어진 상태에서 공정을 수행하므로, 완성품의 정밀도가 열간 단조에 비해 우수하다는 장점이 있다. 또한, 온간 단조는, 프리폼의 표면과 내부에 온도차가 존재하므로, 그 내외부에 생기는 변형 저항의 차이를 이용하여 내부에 단압력을 효과적으로 가할 수 있다는 장점도 존재한다.

[0006] 한편, 베벨기어의 프리폼에 대해 곧바로 온간 단조 공법을 적용하여 베벨기어의 완성품을 제조하는 경우, 불필

요하게 제거되는 부분이 많아 소재와 비용이 불필요하게 낭비된다는 문제가 있다. 또한, 이 경우, 형틀에 의한 압착 시 프리폼에 마모가 과다하게 발생하는 등의 사유로 인해, 완성품의 정밀도가 저하된다는 문제도 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

- [0007] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2007-0073893호(발명의 명칭 : 베벨기어 및 하이포이드 기어의 자유 성형을 최적화하는 방법 및 장치)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0008] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 창출된 것으로서, 보다 정밀하게 베벨기어를 제조할 수 있도록 하는 프리폼 형상의 설계방법을 제공하는 데 목적이 있다.

### 과제의 해결 수단

- [0009] 본 발명은, 베벨기어의 프리폼(pre-form) 형상을 설계하는 방법으로서, (A) 베벨기어의 완성품 형상에 기초하여, 베벨기어의 최초 프리폼 형상을 설정하는 단계; (B) 프리폼 형상이 상기 완성품 형상의 베벨기어를 제조할 수 있는 양의 부피를 갖는지를 나타내는 폼-필링(Form-filling) 팩터와, 프리폼 형상 중 불필요한 부피의 정도를 나타내는 볼륨(Volume) 팩터와, 프리폼 형상의 복잡한 정도를 나타내는 컴플렉시티(Complexity) 팩터를 포함하는 기초 팩터에 기초하여, 상기 최초 프리폼 형상의 기초 팩터가 기 설정된 기준팩터 범위에 속하는지 여부를 판단하는 단계; (C) 상기 최초 프리폼 형상의 기초 팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 속하지 않는 경우, 복수개의 중간 프리폼 형상을 재설정하는 단계; (D) 재설정된 상기 복수개의 중간 프리폼 형상 중, 상기 복수개의 중간 프리폼 형상 각각의 기초팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 속하는 중간 프리폼 형상을 선별하는 단계; 및 (E) 선별된 중간 프리폼 형상 중, 제조비용이 최소가 되게 하는 중간 프리폼 형상을 베벨기어의 최종 프리폼 형상으로 결정하는 단계를 포함하는 프리폼형상 설계방법을 제공한다.
- [0010] 상기 A 단계는, 상기 완성품 형상보다 더 크되, 직경 및 높이가 서로 동일한 비율로 증가하도록 상기 최초 프리폼 형상을 설정한다.
- [0011] 상기 C 단계는, 상기 최초 프리폼 형상의 기초 팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 속하는 경우, 상기 최초 프리폼 형상을 베벨기어의 최종 프리폼 형상으로 결정한다.
- [0012] 상기 D 단계는, 기 설정된 기준형상 범위 내에서, 유전적 알고리즘(Genetic algorithm)에 기초하여 상기 복수개의 중간 프리폼 형상을 재설정한다.
- [0013] 상기 E 단계는, 선별된 중간 프리폼 형상 중, 컴플렉시티 팩터가 가장 작은 값을 나타내는 중간 프리폼 형상을 베벨기어의 최종 프리폼 형상으로 결정한다.
- [0014] 상기 기초 팩터는, 상기 폼-필링 팩터에 상기 볼륨 팩터와 상기 컴플렉시티 팩터를 뺀 값으로 나타난다.
- [0015] 상기 폼-필링 팩터는, 상기 최초 프리폼 형상 및 상기 완성품 형상이 각각 높이 방향을 따라 서로 동일한 간격으로 이격되는 K개의 가상의 수평면에 의해 나누어지고, 하기 수학식 1에 기초하여 n번째 수평면에 대한 단위 폼-필링 팩터가 산출된 후, 하기 수학식 2에서 산출된 값으로 결정되는 프리폼형상 설계방법 :
- [0016] 수학식 1
- [0017] 
$$F_{filling,n} = 0 \text{ if, } \frac{A_{i,n}}{A_{Fb,n}} < a$$
- [0018] 
$$F_{filling,n} = \frac{A_{i,n}}{A_{Fb,n}} - a \text{ if, } a \leq \frac{A_{i,n}}{A_{Fb,n}} \leq a+1$$
 고,  $i$ 는 추후 완성품 형상의 제조 시 기어이(Gear tooth)가 형성될 부분의 높이임,

$$F_{filling,n} = 1 \text{ if, } \frac{A_{i,n}}{A_{Fb,n}} > a+1$$

여기서,  $F_{filling,n}$ 은 n번째 수평면에서의 단위 폼-필링 팩터이며,  $A_{i,n}$ 은 n번째 수평면에서의 최초 프리폼 형상의 단면적이고,  $A_{Fb,n}$ 은 n번째 수평면에서의 완성품 형상의 단면적이며,  $a$ 는 실험보정계수임,

수학식 2

$$F_{filling,i} = \frac{1}{K} \sum_{n=1}^K F_{filling,n}$$

여기서,  $F_{filling,i}$ 는 폼-필링 팩터임.

상기 볼륨 팩터는, 상기 최초 프리폼 형상이 높이 방향을 따라 서로 동일한 간격으로 이격되는 K개의 가상의 수평면에 의해 나누어진 후, 하기의 수학식 3 및 수학식 4에 의해 계산되는 프리폼형상 설계방법 :

수학식 3

$$V_i = \sum_{n=1}^{K-1} \frac{L \times \pi}{(K-1) \times 3} (r_n^2 + r_n \times r_{n+1} + r_{n+1}^2)$$

$$V_{\min} = \pi \times r_{\min}^2 \times L \text{ and } V_{\max} = \pi \times r_{\max}^2 \times L$$

여기서,  $r_n$ 은 최초 프리폼 형상의 n번째 수평면에서의 단면의 반지름이며,  $r_{\min}$ 은 K개의 가상의 수평면에 의해 잘라진 최초 프리폼 형상의 단면의 반지름 중 최소값이며,  $r_{\max}$ 은 K개의 가상의 수평면에 의해 잘라진 최초 프리폼 형상의 단면의 반지름 중 최대값이고,  $L$ 은 추후 완성품 형상의 제조 시 최초 프리폼 형상에 있어서 기어이 (Gear tooth)가 형성될 부분의 높이임,

수학식 4

$$F_{volume,i} = \frac{V_i - V_{Fb}}{V_{\min} - V_{Fb}} \text{ if, } \frac{V_i}{V_{Fb}} \leq 1$$

$$F_{volume,i} = \frac{V_{Fb} - V_i}{V_{Fb} - V_{\max}} \text{ if, } \frac{V_i}{V_{Fb}} \geq 1$$

여기서,  $V_{Fb}$ 는 완성품 형상의 부피이며,  $F_{volume,i}$ 는 볼륨 팩터임.

상기 컴플렉시티 팩터는, 상기 최초 프리폼 형상이 높이 방향을 따라 서로 동일한 간격으로 이격되는 K개의 가상의 수평면에 의해 나누어진 후, 하기의 수학식 5 및 수학식 6에 의해 계산되는 프리폼형상 설계방법 :

수학식 5

$$C_i = \sum_{n=1}^{K-1} \sqrt{(r_n - r_{n+1})^2 + (\frac{L}{K-1})^2}$$

$$C_{\min} = L \text{ and } C_{\max} = \sum_{n=1}^{K-1} \sqrt{(r_{\max} - r_{\min})^2 + (\frac{L}{K-1})^2}$$

여기서,  $r_n$ 은 최초 프리폼 형상의 n번째 수평면에서의 단면의 반지름이며,  $r_{\min}$ 은 K개의 가상의 수평면에 의해 잘라진 최초 프리폼 형상의 단면의 반지름 중 최소값이며,  $r_{\max}$ 은 K개의 가상의 수평면에 의해 잘라진 최초 프리폼 형상의 단면의 반지름 중 최대값이고,  $L$ 은 추후 완성품 형상의 제조 시 최초 프리폼 형상에 있어서 기어이 (Gear tooth)가 형성될 부분의 높이임,

[0038] 수학적식 6

$$F_{complexity,i} = \frac{C_i - C_{min}}{C_{max} - C_{min}}$$

[0040] 여기서,  $F_{complexity,i}$ 는 컴플렉시티 팩터임.

### 발명의 효과

[0041] 본 발명에 따른 프리폼형상 설계방법에 의하면, 폼-필링(Form-filling) 팩터와 볼륨(Volume) 팩터와 컴플렉시티(Complexity) 팩터를 포함하는 기초 팩터에 기초하여 최종 프리폼의 형상을 결정함으로써, 프리폼을 이용한 베벨기어의 제조 시 불필요하게 제거되는 부분을 최소화할 수 있으며, 완성된 베벨기어의 정밀도를 향상시킬 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0042] 도 1은 본 발명에 따른 프리폼형상 설계방법의 흐름도이다.

도 2는 베벨기어의 완성품 형상, 최초 프리폼 형상 및 최종 프리폼 형상을 나타낸 도면이다.

도 3은 베벨기어의 완성품 형상 및 최초 프리폼 형상의 단면도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0043] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

[0044] 이하, 도 1 내지 도 3을 참조하여 본 발명에 따른 프리폼형상 설계방법에 관해 상세히 설명하도록 한다.

[0045] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명에 따른 프리폼형상 설계방법은, 프리폼에 대해 온간 단조 공정을 적용했을 때, 실시자가 설계한 베벨기어의 완성품 형상(1)을 가장 명확하게 도출해낼 수 있는 프리폼 형상을 설계하는 방법에 관한 것이다. 즉, 본 발명에 따른 프리폼형상 설계방법은, 실시자가 목적하는 베벨기어의 완성품 형상(1)에 기초하여 베벨기어의 최초 프리폼 형상(2)을 설정하고, 상기 최초 프리폼 형상(2)에 기초하여 상기 완성품 형상(1)을 제조하기에 가장 적합한 최종 프리폼 형상(3)을 결정하는 과정에 관한 것이다.

[0046] 이를 위하여, 본 발명에 따른 프리폼 형상의 설계방법은, 우선 상기 완성품 형상(1)에 기초하여, 상기 최초 프리폼 형상(2)을 설정하는 것으로부터 시작된다(A 단계). 상기 A 단계에서, 상기 최초 프리폼 형상(2)은 상기 완성품 형상(1)보다 더 크게 설정된다. 더욱 상세하게는, 상기 최초 프리폼 형상(2)의 직경 및 높이는, 각각 상기 완성품 형상(1)의 직경 및 높이에 대해 서로 동일한 비율로 증가하도록 설정된다.

[0047] 상기 A 단계 이후, B 단계에서는, 상기 최초 프리폼 형상(2)에 대한 기초 팩터를 산출한 후, 상기 기초 팩터에 기초하여 상기 최초 프리폼 형상(2)이 상기 완성품 형상(1)을 제조하기에 적합한 프리폼 형상인지 여부를 판단한다. 즉, 상기 B 단계는, 상기 기초 팩터가 기 설정된 기준팩터 범위에 속하는지 여부를 판단한다. 이때, 상기 기초 팩터는, 폼-필링(Form-filling) 팩터와, 볼륨(Volume) 팩터와, 컴플렉시티(Complexity) 팩터를 포함하여 산출된다.

[0048] 이하, 도 3을 참조하여, 상기 폼-필링 팩터, 볼륨 팩터 및 컴플렉시티 팩터를 산출하는 과정에 대해 상세히 설명하도록 한다. 이때, 상기 폼-필링 팩터, 볼륨 팩터 및 컴플렉시티 팩터의 산출 과정은, 상기 최초 프리폼 형상(2) 뿐만이 아니라 후술하게 될 중간 프리폼 형상에 대해서도 동일하게 적용될 수 있다고 할 것이다.

[0049] 도 3을 참조하면, 상기 최초 프리폼 형상(2)은, 상기 폼-필링 팩터, 볼륨 팩터, 및 컴플렉시티 팩터를 산출하기 위하여, 상기 최초 프리폼 형상(2)의 높이방향을 따라 서로 동일한 간격으로 이격되도록 배치된 K개의 가상의 수평면(미도시)에 의해 나누어지는 것으로 가정한다. 이 경우, 상기 최초 프리폼 형상(2) 중 상기 가상의 수평면이 교차된 부분의 단면은, 각각  $r_n(n=1,2,3,\dots)$ 의 반지름을 나타낸다.

[0050] 이때, 도 3에서는 상기 최초 프리폼 형상(2)이 5개의 가상의 수평면에 의해 구분된 것으로 도시하고 있으나, 이는 본 발명의 다양한 실시예 중 하나에 불과하며, 상기 K값은 다양한 값으로 선택될 수 있다고 할 것이다.

[0051] 상기 폼-필링 팩터는, 상기 최초 프리폼 형상(2)이 상기 완성품 형상(1)의 베벨기어를 제조할 수 있는 충분한 양의 부피를 갖는지를 나타내는 지표에 해당한다. 그리고 상기 폼-필링 팩터는, 하기와 같은 수학적 식 1 및 수학적 식 2에 의해 산출된다.

[0052] 수학적 식 1

$$F_{filling,n} = 0 \text{ if, } \frac{A_{i,n}}{A_{Fb,n}} < a$$

$$F_{filling,n} = \frac{A_{i,n}}{A_{Fb,n}} - a \text{ if, } a \leq \frac{A_{i,n}}{A_{Fb,n}} \leq a+1$$

$$F_{filling,n} = 1 \text{ if, } \frac{A_{i,n}}{A_{Fb,n}} > a+1$$

[0056] 여기서,  $F_{filling,n}$ 은 n번째 수평면에서의 단위 폼-필링 팩터이다.  $A_{i,n}$ 은 n번째 수평면에서의 상기 최초 프리폼 형상(2)의 단면적이다.  $A_{Fb,n}$ 은 상기 완성품 형상(1) 역시 K개의 수평면에 의해 나누어졌다고 가정했을 때, n번째 수평면에서의 상기 완성품 형상(1)의 단면적이다.  $a$ 는 실험치와 수식을 맞추기 위하여 부가된 실험보정계수이다.

[0057] 수학적 식 2

$$F_{filling,i} = \frac{1}{K} \sum_{n=1}^K F_{filling,n}$$

[0059] 여기서,  $F_{filling,i}$ 는 폼-필링 팩터이다.

[0060] 온간 단조를 통한 베벨기어의 제조 시, 베벨기어와 동일한 형상의 빈 공간이 내부에 형성된 형틀의 사이에 프리폼을 배치한 후, 형틀을 닫아 프리폼을 압착함으로써 베벨기어를 제조하게 된다. 따라서 형틀의 내부에 배치될 프리폼은, 형틀 내부의 빈 공간을 충분히 채워야 할 필요가 있다.

[0061] 상기 폼-필링 팩터( $F_{filling,i}$ )는, 상기 최초 프리폼 형상(2)이 상기과 같은 형틀 내부의 빈 공간을 충분히 채우는지를 나타내는 충전률에 해당하는 것으로서, 상기 최초 프리폼 형상(2)이 상기 완성품 형상(1)의 베벨기어를 제조할 수 있는 충분한 양의 부피를 갖는지를 나타내는 지표라고 할 수 있다. 따라서  $\frac{A_{i,n}}{A_{Fb,n}}$ 값이  $a+1$ 값에 근접하거나  $a+1$ 이상인 경우, 상기 폼-필링 팩터( $F_{filling,i}$ )는 1에 가깝거나 1이 되며, 상기 최초 프리폼 형상(2)은 그 기초 팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 보다 근접한, 즉 상기 완성품 형상(1)을 제조하기에 보다 적합한 것이 된다.

[0062] 상기 볼륨 팩터는, 상기 최초 프리폼 형상(2)의 부피율을 나타내는 것으로서, 상기 최초 프리폼 형상(2) 중 불필요한 부피의 정도를 나타내는 지표이다. 그리고 상기 볼륨 팩터는, 하기의 수학적 식 3 및 수학적 식 4에 의해 산출된다.

[0063] 수학적 식 3

$$V_i = \sum_{n=1}^{K-1} \frac{L \times \pi}{(K-1) \times 3} (r_n^2 + r_n \times r_{n+1} + r_{n+1}^2)$$

$$V_{min} = \pi \times r_{min}^2 \times L \text{ and } V_{max} = \pi \times r_{max}^2 \times L$$

[0066] 여기서,  $r_n$ 은 상기 최초 프리폼 형상(2)의 n번째 수평면에서의 단면의 반지름이다.  $r_{min}$ 은 K개의 가상의 수평면에 의해 잘라진 상기 최초 프리폼 형상(2)의 단면의 반지름 중 최소값이다.  $r_{max}$ 은 K개의 가상의 수평면에 의해 잘라진 상기 최초 프리폼 형상(2)의 단면의 반지름 중 최대값이다.  $L$ 은 추후 완성품 형상의 제조 시 최초 프리폼 형상에 있어서 기어이(Gear tooth)가 형성될 부분의 높이이다.

[0067] 수학적 식 4

$$F_{volume,i} = \frac{V_i - V_{Fp}}{V_{min} - V_{Fp}} \text{ if, } \frac{V_i}{V_{Fp}} \leq 1$$

$$F_{volume,i} = \frac{V_{Fp} - V_i}{V_{Fp} - V_{max}} \text{ if, } \frac{V_i}{V_{Fp}} \geq 1$$

여기서,  $V_{Fp}$ 는 완성품 형상의 부피이다.  $F_{volume,i}$ 는 볼륨 팩터이다.

온간 단조에 의한 베벨기어의 제조는, 프리폼 중 베벨기어의 완성품 형상(1)에 맞지 않는 부분을 제거하는 방식으로 이루어진다. 그리고 이렇게 제거된 부분은, 완성된 베벨기어와는 상관없이 버려지는 부분에 해당한다. 따라서 프리폼은 베벨기어의 완성품 형상(1)과 맞지 않아 제거되는 부분이 최소화되는 방향으로 설계되어야 한다.

상기 볼륨 팩터( $F_{volume,i}$ )는, 상기 최초 프리폼 형상(2) 중 불필요한 부피가 어느 정도 있는지를 나타내는 지표이다. 즉, 상기 볼륨 팩터( $F_{volume,i}$ )는, 상기 최초 프리폼 형상(2)의 가능한 가장 큰(또는 가장 작은) 부피와 상기 완성품 형상(1)의 부피의 차이에 대한, 상기 최초 프리폼 형상(2)의 부피와 상기 완성품 형상(1)의 부피의 차이의 비를 계산하여, 현재 설정된 상기 최초 프리폼 형상(2)에 상대적으로 불필요한 부피가 어느 정도 있는지를 나타내는 지표라고 할 수 있다.

상기 볼륨 팩터( $F_{volume,i}$ )는, 그 값이 크면 클수록, 상기 최초 프리폼 형상(2)에 불필요한 부피가 많이 포함되어 있다는 것을 의미한다. 따라서 상기 폼-필링 팩터( $F_{filling,i}$ )와 다르게, 상기 볼륨 팩터( $F_{volume,i}$ )는 그 값이 작을수록, 상기 최초 프리폼 형상(2)의 기초 팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 보다 근접한, 즉 상기 완성품 형상(1)을 제조하기에 보다 적합한 것이 된다.

상기 컴플렉시티 팩터는, 상기 최초 프리폼 형상(2)의 복잡한 정도, 즉 복잡도를 나타내는 지표이다. 그리고 상기 컴플렉시티 팩터는, 하기의 수학식 5 및 수학식 6에 의해 산출된다.

수학식 5

$$C_i = \sum_{n=1}^{K-1} \sqrt{(r_n - r_{n+1})^2 + (\frac{L}{K-1})^2}$$

$$C_{min} = L \quad \text{and} \quad C_{max} = \sum_{n=1}^{K-1} \sqrt{(r_{max} - r_{min})^2 + (\frac{L}{K-1})^2}$$

여기서,  $r_n$ 은 최초 프리폼 형상의 n번째 수평면에서의 단면의 반지름이다.  $r_{min}$ 은 K개의 가상의 수평면에 의해 잘라진 최초 프리폼 형상의 단면의 반지름 중 최소값이다.  $r_{max}$ 은 K개의 가상의 수평면에 의해 잘라진 최초 프리폼 형상의 단면의 반지름 중 최대값이다.  $L$ 은 추후 완성품 형상의 제조 시 최초 프리폼 형상에 있어서 기어이(Gear tooth)가 형성될 부분의 높이이다.

수학식 6

$$F_{complexity,i} = \frac{C_i - C_{min}}{C_{max} - C_{min}}$$

여기서,  $F_{complexity,i}$ 는 컴플렉시티 팩터이다.

$C_i$ 는 현재 설정된 상기 최초 프리폼 형상(2)의 모선의 길이이며,  $C_{min}$ 은 상기 최초 프리폼 형상(2)이 원통 형상이라고 가정하였을 때의 상기 최초 프리폼 형상(2)의 모선의 길이이고,  $C_{max}$ 는 상기 최초 프리폼 형상(2)이 그 중심축과 모선이 가능한 가장 큰 각도를 이루는 원뿔대의 형상이라고 가정하였을 때의 그 모선의 길이라고 할 수 있다. 즉, 상기 컴플렉시티 팩터( $F_{complexity,i}$ )는, 상기 최초 프리폼 형상(2)이 가장 단순한 형태라고 가정하였을 때의 모선의 길이의 편차에 대한, 현재 설정된 상기 최초 프리폼 형상(2)의 모선의 길이의 편차를 나타낸다고 할 수 있다.

따라서 상기 볼륨 팩터( $F_{volume,i}$ )와 마찬가지로, 상기 컴플렉시티 팩터( $F_{complexity,i}$ )는 그 값이 작을수록, 상기 최

초 프리폼 형상(2)의 기초 팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 보다 근접한, 즉 상기 완성품 형상(1)을 제조하기에 보다 적합한 것이 된다.

[0084] 상기 B 단계는, 상기와 같이 계산된 폼-필링 팩터( $F_{filling-i}$ ), 볼륨 팩터( $F_{volume-i}$ ) 및 컴플렉시티 팩터( $F_{complexity-i}$ )를 포함하여 기초 팩터를 산출한 후, 산출된 기초 팩터가 기 설정된 기준팩터 범위에 속하는지 여부에 따라, 상기 최초 프리폼 형상(2)이 상기 완성품 형상(1)을 제조하기에 적합한 프리폼 형상인지를 판단하게 된다. 이때, 상기 기초 팩터는, 하기 수학적 식 7에 의해 산출된다.

[0085] 수학적 식 7

$$F_i = w_1 \times F_{filling-i} - w_2 \times F_{volume-i} - w_3 \times F_{complexity-i}$$

[0087] 여기서,  $F_i$ 는 기초 팩터이다.  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ 은 각각  $F_{filling-i}$ ,  $F_{volume-i}$ ,  $F_{complexity-i}$ 에 대한 보정계수이다.

[0088] 상기 기초 팩터( $F_i$ )는, 상기 폼-필링 팩터( $F_{filling-i}$ )에 볼륨 팩터( $F_{volume-i}$ )와 컴플렉시티 팩터( $F_{complexity-i}$ )를 뺀 값으로 계산될 수 있다. 이때, 상기 폼-필링 팩터( $F_{filling-i}$ ), 볼륨 팩터( $F_{volume-i}$ ) 및 컴플렉시티 팩터( $F_{complexity-i}$ )에는 각각  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ 의 보정계수가 곱해질 수 있다. 그리고 상기 보정계수( $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ )는 베벨기어 제조에 따른 환경, 적용되는 공법, 재료의 물성 등의 요인에 의해 달라질 수 있다.

[0089] 상술한 바와 같이, 상기 폼-필링 팩터( $F_{filling-i}$ )의 값이 클수록, 그리고 상기 볼륨 팩터( $F_{volume-i}$ )와 상기 컴플렉시티 팩터( $F_{complexity-i}$ )의 값이 작을수록, 상기 최초 프리폼 형상(2)의 기초 팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 보다 근접한, 즉 상기 완성품 형상(1)을 제조하기에 보다 적합한 것이 된다. 따라서 상기 기 설정된 기준팩터 범위가, 상기 기초 팩터( $F_i$ )의 가능한 큰 값이 속하는 범위가 되도록 한 후, 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 상기 기초 팩터( $F_i$ )의 값이 속하게 될 때의 상기 최초 프리폼 형상(2)을 선별한다(C 단계).

[0090] 상기 C 단계는, 상기 최초 프리폼 형상(2)의 기초 팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 속하는 경우, 상기 최초 프리폼 형상(2)을 베벨기어의 최종 프리폼 형상(3)으로 결정한다. 하지만 상기 최초 프리폼 형상(2)의 기초 팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 속하지 않는 경우, 상기 C 단계는 복수개의 중간 프리폼 형상(미도시)을 재설정한다. 상기 중간 프리폼 형상은, 베벨기어의 최종 프리폼 형상(3)을 결정하기 위하여 전(前) 단계에서 임시로 결정되는 프리폼 형상이라는 점에서는 상기 최초 프리폼 형상(2)과 동일하나, 상기 최종 프리폼 형상(3)을 상기 최초 프리폼 형상(2)으로 결정할 수 없는 경우에 재설정되는 것이라는 점에서 상기 최초 프리폼 형상(2)과 차이가 있다고 할 수 있다.

[0091] 상기 C 단계 이후, 상기 C 단계에서 재설정된 상기 복수개의 중간 프리폼 형상 중, 상기 복수개의 중간 프리폼 형상 각각의 기초팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 속하는 것을 선별한다(D 단계). 즉, 상기 D 단계는, 상기 복수개의 중간 프리폼 형상의 기초팩터들을 각각 상기 기 설정된 기준팩터 범위와 비교하여, 기초팩터가 상기 기 설정된 기준팩터 범위에 속하는 중간 프리폼 형상을 선별한다.

[0092] 한편, 상기 D 단계는, 유전적 알고리즘(GA; Genetic algorithm)에 기초하여 상기 복수개의 중간 프리폼 형상을 설정한다. 유전적 알고리즘이란, 생물집단의 진화과정을 설명하는 자연선택설을 기호열의 집합에 적용하여, 적응도가 높은 기호열이 진화해오는 상황을 시뮬레이션하는 방법을 의미한다. 유전적 알고리즘에서는, 개체라 부르는 집단을 생성하고, 각각의 개체에 대하여 적응도를 평가해서 평가치가 높은 개체를 선택하고, 각각에 대해서 교차, 돌연변이 등의 조작을 가해 다음 세대의 개체 집단을 생성한다. 이렇듯, 유전적 알고리즘은, 복잡한 문제에 대해서도 원리적으로는 최적 또는 최적에 가까운 해법을 얻을 수 있기 때문에, 계획 문제를 중심으로 개발된 시스템이라고 할 수 있다.

[0093] 또한, 상기 D 단계는, 상기 복수개의 중간 프리폼 형상을, 기 설정된 기준형상의 범위 내에서 재설정할 수 있다. 이때, 상기 기 설정된 기준형상의 범위는, 베벨기어의 직경이 80mm 내지 88mm이고 높이가 40mm 내지 47.2mm로 설정될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0094] 상기 D 단계 이후, 상기 D 단계에서 선별된 중간 프리폼 형상 중, 상기 최종 프리폼 형상(3)의 제조비용이 최소가 되게 하는 중간 프리폼 형상을, 상기 최종 프리폼 형상(3)으로 결정한다(E 단계). 더욱 상세하게는, 상기 E 단계는, 선별된 중간 프리폼 형상 중, 컴플렉시티 팩터( $F_{complexity-i}$ )가 가장 작은 값을 나타내는 중간 프리폼 형

상을 상기 최종 프리폼 형상(3)으로 결정한다. 상기 컴플렉시티 팩터( $F_{complexity}$ )는, 중간 프리폼 형상의 복잡한 정도를 나타내는 것인 바, 이에 기초하여 베벨기어의 최종 프리폼 형상(3)을 설계하였을 때 최종 프리폼 형상(3)의 제조에 따른 비용이 얼마나 소요되는지를 나타내는 지표라고도 할 수 있다. 따라서 상기 D 단계에서 선별된 중간 프리폼 형상 중, 컴플렉시티 팩터가 가장 작은 값을 나타내는 중간 프리폼 형상을 선정하여 상기 최종 프리폼 형상(3)으로 결정한 후, 상기 최종 프리폼 형상(3)에 온간 단조공정을 적용함으로써, 제품 제조비용을 최소화할 수 있는 베벨기어의 완성품 형상(1)을 도출할 수 있게 된다.

[0095]

이상에서 살펴 본 바와 같이, 본 발명에 따른 프리폼형상 설계방법에 의하면, 폼-필링 팩터( $F_{filling}$ )와 볼륨 팩터( $F_{volume}$ )와 컴플렉시티 팩터( $F_{complexity}$ )를 포함하는 기초 팩터( $F_i$ )에 기초하여 최종 프리폼의 형상을 결정함으로써, 프리폼을 이용한 베벨기어의 제조 시 불필요하게 제거되는 부분을 최소화할 수 있으며, 완성된 베벨기어의 정밀도를 향상시킬 수 있다.

## 부호의 설명

[0096]

1 : 베벨기어의 완성품 형상 2 : 베벨기어의 최초 프리폼 형상

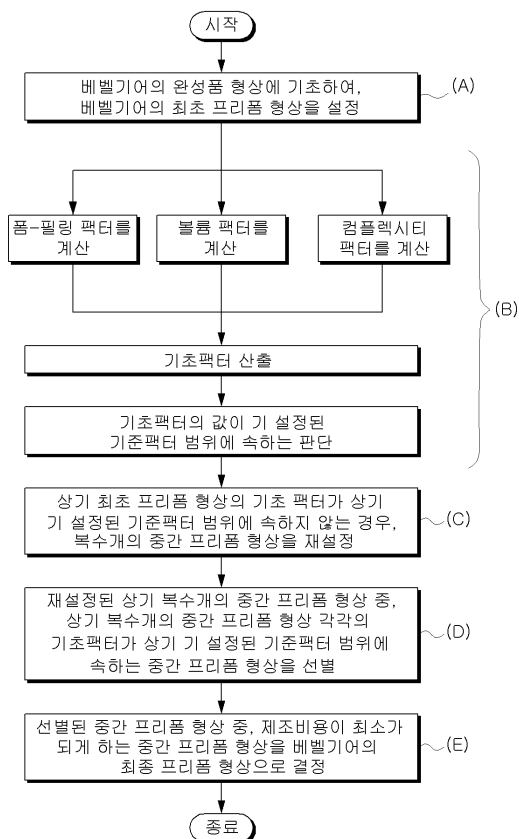
3 : 베벨기어의 최종 프리폼 형상  $F_i$  : 기초 팩터

$F_{filling}$  : 폼-필링 팩터  $F_{volume}$  : 볼륨 팩터

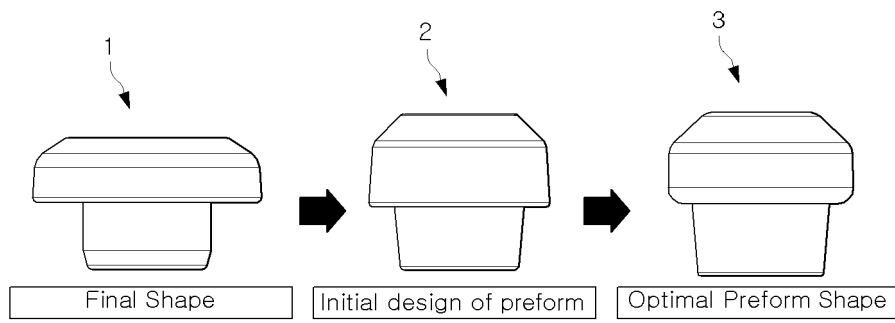
$F_{complexity}$  : 컴플렉시티 팩터

## 도면

### 도면1



도면2



도면3

