



(19) 대한민국특허청(KR)  
 (12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0115270  
 (43) 공개일자 2012년10월17일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*B29C 47/40* (2006.01) *G06F 17/50* (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2012-7015511  
 (22) 출원일자(국제) 2010년12월14일  
 심사청구일자 없음  
 (85) 번역문제출일자 2012년06월15일  
 (86) 국제출원번호 PCT/EP2010/069608  
 (87) 국제공개번호 WO 2011/073181  
 국제공개일자 2011년06월23일  
 (30) 우선권주장  
 10 2009 059 073.0 2009년12월18일 독일(DE)

- (71) 출원인  
 바이엘 인텔렉쳐 프로퍼티 게엠베하  
 독일, 40789 몬헤임 엠 레인, 알프레드-노엘-스트  
 라쎄 10  
 (72) 발명자  
 비어넬, 마이클  
 독일 51373 레버쿠센 헨리-티.-본-뵈팅거-스트라  
 췌 16  
 모르지골드, 토마스  
 독일 51467 베르지스츠 글라드바흐 안 텐 베이헤  
 른 76  
 피르럿츠, 리누스  
 독일 51069 켈른 임 터너 월드 13  
 (74) 대리인  
 위혜숙, 양영준, 양영환

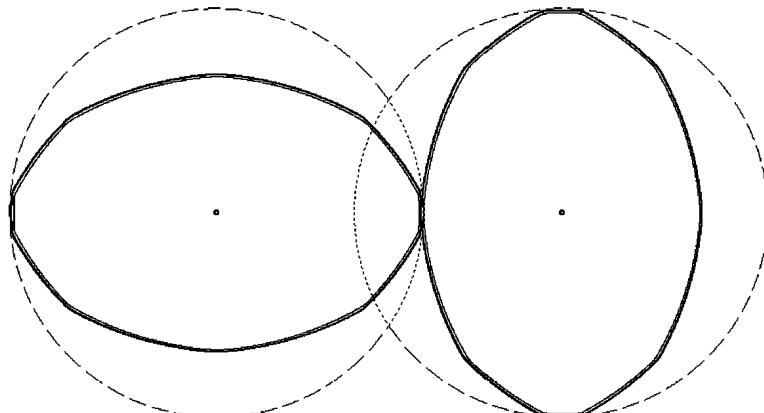
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 예측 및 최적화하기 위한 데이터-기반 모델

### (57) 요 약

본 발명은 스크류 압출기 분야 및 스크류 압출기 및 압출 공정의 최적화에 관한 것이다. 본 발명은 스크류 압출 기의 기하학적 형태를 최적화하기 위한, 그리고 압출 공정을 최적화하기 위한 방법에 관한 것이다. 본 발명은 또한 스크류 압출기의 제조 방법에 관한 것이다. 본 발명은 또한 본 발명에 따른 방법이 그를 이용하여 수행될 수 있는 컴퓨터 시스템 및 컴퓨터 프로그램 제품에 관한 것이다.

**대 표 도** - 도6b



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

적어도 하기 단계:

- (a) 파라미터 공간을 정의하는 단계,
- (b) 파라미터 공간 내에서 값들의 대표적인 조합을 선택하는 단계,
- (c) 시뮬레이션 계산을 이용하여 값들의 선택된 조합에 대하여 결과 특성을 계산하는 단계,
- (d) 값들의 선택된 조합 및 계산된 결과 특성을 기반으로 데이터-기반 모델을 제작하는 단계, 및
- (e) 결과 특성이 데이터-기반 모델을 이용하여 충분히 정확하게 계산될 수 있을 때까지 가능한 대로 단계 (a) 내지 (e)의 하나 이상을 반복하는 단계

를 포함하는, 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 예측 도구를 제작하는 방법.

### 청구항 2

적어도 하기 단계:

- (I) 예측 도구로서 데이터-기반 모델을 제작하는 단계,
- (II) 스크류 압출기, 압출 공정 및 압출되는 물질에 대한 특징화 값을 데이터-기반 모델에 입력하는 단계,
- (III) 데이터-기반 모델을 이용하여 결과 특성을 계산하는 단계, 및
- (IV) 결과를 출력하는 단계

를 포함하는, 압출되는 물질의 압출에서 스크류 압출기의 거동을 예측하기 위한 방법.

### 청구항 3

적어도 하기 단계:

- (A) 예측 도구로서 데이터-기반 모델을 제작하는 단계,
- (B) 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 목표 프로파일을 정의하는 단계,
- (C) 정의된 목표 프로파일을 만족시키고/거나 목표 프로파일에 가장 가까워지는 값들의 조합을 확인하는 단계, 및
- (D) 단계 (C)에서 결정된 값들의 조합을 출력하는 단계

를 포함하는, 스크류 압출기의 기하학적 형태 및/또는 압출 공정을 최적화하기 위한 방법.

### 청구항 4

적어도 하기 단계:

- (i) 예측 도구로서 데이터-기반 모델을 제작하는 단계,
- (ii) 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 목표 프로파일을 정의하는 단계,
- (iii) 정의된 목표 프로파일을 만족시키고/거나 목표 프로파일에 가장 가까워지는 스크류 압출기를 위한 값들의 조합을 확인하는 단계,
- (iv) 단계 (iii)에서 결정된 값들의 조합을 출력 및/또는 저장하는 단계, 및
- (v) 단계 (iii)에서 결정된 값들의 조합에 기초하여 스크류 압출기를 제작하는 단계

를 포함하는, 스크류 압출기의 제조 방법.

**청구항 5**

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 스크류 요소의 단면 프로파일이 원의 호로 표현되는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 6**

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 프로파일을 표현하는 호가 그들의 시작점 및 끝점에서 서로 접선으로 병합되고, 프로파일 내 킨크(kink)가 반경이 0인 호에 의해 표현되는 방법.

**청구항 7**

제1항, 제5항 및 제6항 중 어느 한 항에 따른 방법 중 하나에 의해 생성된 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 예측 도구.

**청구항 8**

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 따른 방법을 수행하기 위한 컴퓨터 시스템.

**청구항 9**

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 따른 방법을 수행하기 위한 프로그램 코딩 수단을 컴퓨터 상에 갖는 컴퓨터 프로그램 제품.

**명세서****기술 분야**

[0001] 본 발명은 스크류 압출기, 및 스크류 압출기와 압출 공정의 최적화의 기술 분야에 관한 것이다. 본 발명의 주제는 스크류 압출기의 기하학적 형태를 최적화하기 위한, 그리고 압출 공정을 최적화하기 위한 방법이다. 본 발명의 주제는 또한 스크류 압출기의 제조 방법이다. 본 발명의 주제는 또한 본 발명에 따른 방법이 그에 의해 수행될 수 있는 컴퓨터 시스템 및 컴퓨터 프로그램 제품이다.

**배경기술**

[0002] 진행되고 있는 공정의 최적화 및 제품 특성의 향상은 산업에서 연구 및 개발을 위한 주된 추진력의 하나이다. 이러한 면에서, 수학적 방법을 지원 사용하는 것은 당업계의 오랜 기술 상태이다.

[0003] 최적화는 예를 들어 고가의 원료를 사용하고 실험 도중 폐기물이 발생되는 복잡한 실험을 최대한 피하기 위해, 컴퓨터 상에서 시뮬레이션을 이용하여 수행되는 것이 증가하고 있다.

[0004] 이는 특히 스크류 압출기의 최적화에 적용된다. 스크류 압출기는 예를 들어 플라스틱 및 식품의 제조, 배합 및 가공에 사용된다. 같은 방향으로 회전하는 샤프트를 갖는, 긴밀하게 맞물린 이중-샤프트가 이를 위한 압출기들 중에서도 가장 중요하다. 단일-샤프트 기계와 대조적으로, 긴밀하게 맞물리는 동방향-회전 스크류의 주된 장점은, 필요한 간극은 제외하고, 나삿니들이 서로를 닦아내어, 결과적으로 완전히 세정한다는 것이다. 스크류 압출기는 다음 문헌 [1][K. Kohlgrueber, *Der gleichlaeufige Doppelschneckenextruder* [the co-running twin-screw extruder], Hanser Verlag, 2007]에 상세히 기재되어 있다. 상기 문헌에서, 이중- 및 다중-샤프트 압출기의 구조, 기능 및 작동이 상세히 설명되어 있다.

[0005] 압출 공정에서 스크류 압출기를 최적화하기 위해서, 그 품질을 실험적으로 시험하기 위해 다수의 상이한 스크류 압출기를 제조하는 것은, 스크류 압출기의 제조가 높은 비용을 수반하기 때문에, 상업적 이유에서 권장할만하지 않다는 것이 쉽게 인식될 수 있을 것이다. 그러므로, 시뮬레이션이 스크류 압출기 및 압출 공정의 최적화에서 중요한 역할을 한다.

[0006] 문헌 [1]에서, 흐름 시뮬레이션, 및 압출기 및 압출 공정의 최적화에서의 그들의 역할은 147 내지 168면에 더욱 상세하게 논의되어 있다.

[0007] 흐름 시뮬레이션의 목적은, 소수의 실험을 가지고 신뢰할 만하며 비용-효과적인 압출기 디자인을 보장하도록, 압출기 내에서 발생하는 흐름 과정의 더 깊은 이해를 얻고자 하는 것이다.

- [0008] 그러므로 시뮬레이션은 실험적으로 측정될 수 없거나, 측정이 어려운 공정을 기록하는 역할을 위해 의도된다. 예를 들어 이중-샤프트 압출기 분야에서는, 샤프트의 토크, 다이에서의 압력 및 온도와 같은 적분 변수만이 측정될 수 있다. 반면, 흐름 시뮬레이션은 전체 계산 범위에서 압력, 속도 및 온도에 대한 국소적 정보를 제공한다. 전단 속도 및 열 전달 계수에 대한 발견은 구배의 계산에 의해 추가적으로 수득된다. 계산 모델에서, 모델의 복잡성은 단계에 따라 증가될 수 있다. 이는 어느 공정 변수가 수득되는 제품 품질에 대하여 결정적인지에 관한 발견을 가능하게 한다. 압출 공정은 작동 상태를 변화시킴으로써 최적화될 수 있다.
- [0009] 이러한 면에서, 각각의 질문에 대하여 별도의 계산 모델이 일반적으로 생성되어야 하는 것은 불리하다. 뿐만 아니라, 관련된 질문 또는 다른 질문에 대하여 이미 수행된 시뮬레이션은 겨우 어렵게 재사용될 수 있거나, 전혀 재사용이 불가능하다.
- [0010] 이는 또한 문헌 [1]의 151 내지 165면에 나타난 스크류 압출기에서 시뮬레이션 계산의 예로부터도 분명해진다. 각각의 질문은 3-단계 공정으로 착수된다. 제1 단계 (전처리)에서, 스크류의 기하학적 형태가 정의되고 흐름 시뮬레이션을 가능하게 하는 형태로 변형된다(그리드 생성). 제2 단계 (흐름 시뮬레이션)에서는, 흐름 모델 및 진입 물질 및 상응하는 미분 방정식을 풀기 위한 작업 데이터를 정의한 후, 흐름 장을 계산한다. 제3 단계 (후처리)에서는, 앞의 질문에 대하여 계산된 흐름 장의 총체적 분석이 수행된다. 새로운 또는 변화된 질문의 경우, 모든 단계가 다시 한 번 수행되어야 하고, 시간-소모적인 계산이 다시 한 번 수행되어야 한다. 결과는 유사한 질문에 대하여 재사용될 수 있는 형태가 아니다. 일단 시뮬레이션된 공정을 저장하고, 계산하는 수고를 줄이면서 필적할만한 질문을 착수하기 위해 나중에 사용될 수 있는 형태로 그들을 유지하는 시스템은 존재하지 않는다.
- [0011] 뿐만 아니라, 특히 스크류 압출기의 최적화에 있어서, 공정을 정의하는 변수가 자유로이 선택가능하지 않고, 짹지어진 완전히 닦는 스크류 요소의 구조적 디자인이 사소한 문제가 아니라는 문제가 또한 존재한다. 이를 더욱 상세히 요약 설명한다. 문헌 [1](151면)에 따르면, 에르멩거(Erdmenger) 유형의 나사식 요소의 기하학은 하기 6 가지 명시된 사항에 의해 고유하게 정의된다: 플라이트의 수, 배럴 직경, 중심선 거리, 스크류와 배럴 사이의 간극, 인접한 스크류와 피치 사이의 간극. 시뮬레이션이 문헌 [1]의 151면에 명시된 일련의 변수를 가지고 수행되었다고 가정하자. 플라이트의 수는 2였고, 초기 온도는 300°C였다. 이 때, 시뮬레이션의 시작 시 온도를, 예를 들어 310°C 또는 320°C로 설정하고 새로운 시뮬레이션을 수행하는 것이 쉽게 가능하다. 그러나, 플라이트의 수를 2에서 3 또는 4로 증가시키는 것은 그리 쉽지 않다. 플라이트의 수가 일련의 기하학적 파라미터를 근거로 하여 증가될 경우, 스크류 요소의 짹들은 어떤 모양인가? 다른 파라미터들을 유지하면서 제1 위치에서 플라이트의 수를 변화시키는 것이 허용가능한가? 하나의 파라미터를 변화시키는 것이(예를 들어, 플라이트의 수) 짹지어진 완전히 닦아내는 프로파일을 갖는 스크류 요소가 여전히 수득되는 것을 의미하는가?
- [0012] 스크류 요소에 있어서의 문제점은, 선행 기술에서는 짹지어진 완전히 닦아내는 임의의 원하는 스크류 프로파일을 생성하기 위한 일반적인 디자인 명세가 알려져 있지 않다는 것이다. 그 디자인 명세가 존재하는 스크류 요소는 많지 않다. 예를 들어, 자가-세정 에르멩거 스크류 프로파일이 원의 호로 이루어질 수 있다고 알려져 있다 (문헌 [1] 참조, 96 내지 98면). 에르멩거 스크류 프로파일을 생성하기 위한 또 하나의 방법은 부이(Booy)의 문헌 [2] ["Geometry of fully wiped twin-screw equipment", Polymer Engineering and Science 18 (1978) 12, pages 973-984]에서 발견된다.
- [0013] 언급된 문헌에서, 스크류 프로파일은 그 고정 축에 대하여 같은 방향인 2개의 샤프트의 회전은 하나의 샤프트가 다른 하나의(이 경우, 고정) 샤프트에 대하여 "회전 없는 병진 운동"과 동력학적으로 동일하다는 특별한 동력학적 현상을 이용하여 생성된다. 상기 현상은 스크류 프로파일의 단계별 생성을 위해 사용될 수 있다. 제1 스크류("생성되는" 스크류)는 본 고찰에서는 고정으로 유지되었고, 제2 스크류("생성하는" 스크류)는 원의 호 위에서 상기 제1 스크류 주위를 병진 방식으로 움직인다. 이렇게 하여 제2 스크류 위의 프로파일 일부를 규정하고, 따라서 어떤 프로파일이 제1 스크류 위에 생성되는지를 조사하는 것이 가능하다. 생성되는 스크류는 생성하는 스크류에 의해 특정 정도로 "컷 아웃"된다. 그러나 문헌 [1]에는, 규정된 제2 스크류 상의 부분이 어떤 방법으로 생성되는지 명시되어 있지 않다. 문헌 [2]에서, 기초로 사용될 수 있는 프로파일을 가진 부분을 생성하는 것이 어떻게 가능한지, 그리고 어떤 것으로부터 나머지 프로파일이 생성되는지에 대한 하나의 가능한 접근이 기재되어 있다. 그러나, 상기 접근은 수학적으로 매우 복잡하며, 특히 보편적으로 적용될 수 없어서, 즉 스크류 요소를 위한 임의의 원하는 프로파일을 생성하는 것이 불가능하다.
- [0014] 요약하면, 스크류 압출기 및 압출 공정의 최적화를 위해 시뮬레이션 계산이 사용될 수 있다고 말할 수 있다. 그러나, 선행 기술에 기재된 과정은, 각각의 질문에 대하여 새로운 시간-소모적 시뮬레이션이 수행되어야 하기

때문에, 그다지 효율적이지 않다. 압출기 스크류의 분야에서, 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류 요소를 위한 일반적인 디자인 명세가 존재하지 않으며, 그 결과 압출기 스크류를 정의하는 파라미터에 대한 값의 변동이 쉽게 가능하지 않다는 추가의 문제점이 있다.

[0015] 따라서 선행 기술은 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 최적화하기 위한 더욱 효율적인 방법을 제공할 목적을 초래한다. 추구되는 방법은 특히 압출기를 위한 최적화된 기하학적 형태를 또한 확인하기에 적합하도록 의도된다. 이런 정도까지, 최적화된 스크류 압출기를 생성하기 위한 방법을 제공할 목적이 또한 존재한다.

### 발명의 내용

[0016] 상기 목적은 실제 최적화로부터 시뮬레이션 계산을 분리시킴으로써 본 발명에 의해 이루어진다. 본 발명에 따르면, 우선 다수의 시뮬레이션 계산이 미리 정의된 파라미터 공간에서 수행된다. 시뮬레이션 계산의 결과는 상기 파라미터 공간을 위한 데이터-기반 모델을 생성하는 데 사용된다. 데이터-기반 모델은 정의된 파라미터 공간을 표현하고, 저장된 파라미터에 대하여 관심있는 값의 모든 조합에 대한 예측 값을 제공한다.

[0017] 결과적으로, 시뮬레이션 계산의 결과는 다수의 상이한 질문들에 대하여 사용가능하고, 실제 질문에 대답하기 위해 추가의 시뮬레이션 계산이 수행되어야 할 필요가 없다. 데이터-기반 모델을 기초로, 실제 질문에 대한 예측이, 시뮬레이션 계산을 수행하는 데 필요한 것보다 훨씬 더 짧은 시간에 수행될 수 있다. 상기 데이터-기반 모델은 또한 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 파라미터 값을 최적화하기 위해서도 사용될 수 있다.

[0018] 본 발명에 따르면, 실제 질문을 위한 시간-소모적 개별 시뮬레이션은 오직 한 번 생성되어야 하는 전체 모델에 의해 결과적으로 대체된다. 고도의 계산적 노력은 1회성의 사건이고 최대의 정도로 자동화될 수 있다. 시뮬레이션의 결과는 하나의 형태로 - 정밀하게 상기 데이터-기반 모델의 형태로 저장되며, 여기에서 이들은 추후의 질문에 사용가능하다. 데이터-기반 모델의 특별한 특성 때문에, 개별적인 시뮬레이션 계산이 각각의 개별 시뮬레이션에 대하여 꼭 유용한 것은 아니지만, 상기 데이터-기반 모델은, 시뮬레이션 계산에 포함되지 않은 값들의 조합에 대한 결과가 해석에 의해 결정될 수도 있는 도구를 제작할 수 있게 한다.

[0019] 질문이 있을 경우, 상응하는 값을 데이터-기반 모델 내에 넣으면, 결과의 예측 값이 개별 시뮬레이션에 배하여 매우 빠르게 결정될 수 있다. 질문의 경우, 상응하는 시뮬레이션 모델을 구축하고 상응하는 시뮬레이션 계산을 수행할 필요가 더 이상 없다.

[0020] 따라서 본 발명의 제1 주제는 적어도 하기 단계들을 포함하는, 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 예측 도구를 제작하는 방법이다.

[0021] (a) 파라미터 공간을 정의하는 단계,

[0022] (b) 파라미터 공간 내에서 값들의 대표적인 조합을 선택하는 단계,

[0023] (c) 시뮬레이션 계산을 이용하여 값들의 선택된 조합에 대하여 결과 특성을 계산하는 단계,

[0024] (d) 값들의 선택된 조합 및 계산된 결과 특성을 기반으로 데이터-기반 모델을 제작하는 단계, 및

[0025] (e) 결과 특성이 데이터-기반 모델을 이용하여 충분히 정확하게 계산될 수 있을 때까지 가능한 대로 단계 (a) 내지 (e)의 하나 이상을 반복하는 단계.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 본 발명에 따른 방법의 단계 (a) 내지 (e)는 명시된 순서로 바람직하게 수행된다.

[0027] 본 발명에 따른 방법의 단계 (a)에서는, 파라미터 공간이 정의된다. 이는 우선 압출 공정의 시뮬레이션에 필요한 파라미터를 정의하는 것을 수반한다. 세 그룹의 파라미터 집합들 사이에 구별이 지어질 수 있다: 스크류 압출기의 기하학적 형태를 표현하기 위한 파라미터, 압출되는 물질을 표현하기 위한 파라미터 및 공정 파라미터.

[0028] 이미 전술한 바와 같이, 스크류 압출기의 기하학적 형태를 표현하는 것은, 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류 압출기를 위한 일반적인 디자인 명세가 존재하지 않고, 따라서 모든 가능한 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류 압출기를 고유하게 표현하는 일반적으로 알려진 파라미터가 존재하지 않기 때문에, 사소한 문제가 아니다.

[0029] 그러나 놀랍게도, 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류 프로파일이 기반으로 하는 근본 원리가 밝혀졌다. 이들은 첨부 1에 나타낸다. 첨부 1은 본 출원의 일부를 구성한다.

- [0030] 이들 근본 원리는 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류 압출기, 및 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류 압출기에 대한 디자인 명세의 제작을 고유하게 표현하는 파라미터의 정의를 가능하게 한다.
- [0031] 이들 근본 원리에 의해, 한 쌍의 완전히 닦아내는 스크류 압출기의 단면 프로파일(회전 축에 수직으로 절단한 프로파일)이 원의 호로 표현될 수 있다. 결과적으로, 상기 프로파일은 그들을 형성하는 중심점, 반경 및 호의 각을 명시함으로써 정확하게 정의된다. 혼합, 혼련, 운반 또는 병진 요소의 생성을 위한 회전 축의 방향에서 상기 프로파일이 3차원으로 이어짐에 따라, 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류 압출기의 기하학적 형태를 표현하기 위한 추가의 파라미터, 예컨대 예를 들어 나사식 요소의 경우 페치가 한정될 수 있다. 간극들(스크류와 배럴 사이의 간극, 스크류들 간의 간극)을 명시하는 것도 필요하다.
- [0032] 이러한 방식으로, 스크류의 기하학적 형태는 정확하게 정의된다. 그러나, 스크류가 파라미터로서 전술한 좌표 및 호의 변수에 의해 반드시 정의되어야 하는 것은 아니며, 대신, 예를 들어 그를 표현하기 위해 유도된 변수들이 사용될 수도 있다. 바람직하게는, 현실에서 실제로 물리적 영향을 갖는 것으로 예상되는 그러한 유도된 변수들이 표현 변수(파라미터)로 사용된다. 예를 들어, 스크류가 배럴을 닦아내는 플라이트 착지면의 폭은 가능한 파라미터로 명시될 수 있다. 플라이트 착지면의 폭은 운반되는 물질 내로의 에너지의 도입에 영향을 주며, 따라서 스크류 압출기를 특징짓기 위한 중요한 변수이다.
- [0033] 운반되는 물질을 특징짓는 파라미터는 예를 들어 밀도, 열용량, 열전도성, 점도 등이다. 압출되는 물질에 대한 이들 파라미터는 종종 공정 파라미터의 값에 따라 좌우된다. 예를 들어, 점도는 공정 온도에 따라 좌우된다.
- [0034] 공정을 특징짓는 파라미터 (공정 파라미터)는 예를 들어 압력, 온도, 스크류 압출기의 회전 속도, 샤프트의 토크 등이다.
- [0035] 일단 파라미터 자체가 정의되면, 파라미터 공간이 정의된다. 이는 시뮬레이션을 위한 기초로 선택되어야 하는 각각의 파라미터에 대한 값의 범위가 정의됨을 의미한다. 압출에서 초기 온도의 파라미터를 위한 값의 범위는 예를 들어 0°C 내지 500°C로 정의될 수 있다.
- [0036] 운반되는 상이한 물질 및/또는 스크류 압출기의 상이한 종류가 시뮬레이션에서 완전히 상이한 성질을 나타내는 (나타낼) 것으로 예상되거나 그렇게 밝혀질 경우, 운반되는 상이한 종류의 물질 및/또는 스크류 압출기의 상이한 종류에 대하여 상이한 데이터-기반 모델을 생성하는 것이 권장할 만하다. 필요하다면, 이를 상이한 모델은 나중에 단일 모델로 합쳐질 수 있다.
- [0037] 예를 들어, 운반되는 물질에 있어서, 뉴턴 흐름 거동을 나타내는 것들과 비-뉴턴인 것들 사이를 구별하고, 별도의 시뮬레이션을 수행하며 이들을 위해 별도의 모델을 생성하는 것이 권장할 만하다.
- [0038] 더욱이, 스크류 압출기의 종류를 따로따로 고려하는 것이 권장할 만하다. 스크류 압출기의 하나의 유형은 예를 들어 에르멩거 프로파일(문헌 [1], 151 내지 168면)을 갖는 2중-플라이트의 나사식 요소에 의해 형성될 수 있는 한편, 다른 유형은 예를 들어 PCT/EP2009/004251에 기재된 것과 같이 감소된 플라이트 착지각을 갖는 단일-플라이트의 나사식 요소에 의해 형성될 수 있다.
- [0039] 본 발명에 따른 방법의 단계 (b)에서, 파라미터 공간 내에서 값들의 대표적인 조합의 선택이 이루어진다. 값들의 대표적인 조합이란, 가능한 한 포괄적으로 파라미터 공간을 표현하고, 가능한 한 다르게 상기 파라미터 공간의 영역을 포함하는 값들의 조합을 의미하는 것으로 이해된다. 그 목적은 값들의 이러한 조합이 그 안에 입력되는 데이터-기반 모델이 (시뮬레이션 계산의 결과와 함께) 다른 값들도 예측할 수 있도록 상기 파라미터 공간을 표현하는 값들의 조합을 찾기 위함이다.
- [0040] 이러한 목적을 위하여, 예를 들어 플래켓-버만 (Plackett-Burmann) 실험 디자인, 중심-복합 디자인, 박스-벤큰 (Box-Behnken) 실험 디자인, D-적정 디자인, 균형 블럭 디자인, 샤이닌 (Shainin) 또는 타구치(Taguchi)에 의해 고안된 방법 등과 같은 통계적 실험 디자인을 기반으로 하는 실험적 디자인 방법과 같은, 실험적 디자인으로부터 당업자에게 공지된 방법이 편리하게 사용된다. 실험적 디자인 방법은 특히, 문헌 [Hans Bendemer, *Optimale Versuchsplanung* [optimal design of experiments], Deutsche Taschenbuecher series, DTB, volume 23 (ISBN 3-87144-278-X)] 또는 [Wilhelm Kleppmann, *Taschenbuch Versuchsplanung, Produkte und Prozesse optimieren* [pocketbook of experimental design, optimizing products and processes], second edition (ISBN 3-446-21615-4)]에 기재되어 있다. 특히, 본원에서는 WO2003/075169A에 기재된 방법도 참고될 수 있다.
- [0041] 본 발명에 따른 방법의 나중에, 값들의 선택된 조합이 파라미터 공간을 적절하게 나타내지 않는 것을 발견하는 것이 가능하다 (단계 (d) 참조). 이 경우, 값들의 다른 및/또는 추가의 조합을 선택할 필요가 있을 수 있다

(단계 (e) 참조).

[0042] 본 발명에 따른 방법의 단계 (c)에서, 값들의 선택된 조합에 대한 시뮬레이션 계산이 수행된다. 다양한 선택된 시나리오가 계산되며, 상이한 공정 파라미터 하에 및/또는 가능한 대로 상이한 물질(압출되는 물질)을 사용하여 얼마나 다르게 스크류 압출기가 작동하는지 시뮬레이션된다.

[0043] 그러한 시뮬레이션을 위해, 3-차원 스크류 컨투어는 가능한 컴퓨터에 의해 수학적 계산을 하는 형태여야 한다. 컴퓨터에서 스크류를 실제로 나타내는 것은, 소위 컴퓨터 그리드의 형태로 문헌 [1]의 149 내지 150면에 기재된 것과 같이 유리하게 수행된다. 컴퓨터에서 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류의 구조적 디자인은 그들의 단면 프로파일(이후 줄여서 프로파일이라고도 함)을 정의함으로써, 즉 생성하는 스크류 프로파일 및 생성되는 스크류 프로파일을 정의함으로써 우선 바람직하게 수행된다. 프로파일은 그 자체에 대하여 바람직하게는 중심점, 반경 및 호의 각을 명시함으로써 정의된다. 첨부 1에 나타낸 근본 원리 및 첨부 1에 나타낸 디자인 명세 또는 그로부터 유래된 디자인 명세(PCT/EP2009/003549 참조)가 이를 위하여 사용된다.

[0044] 다음, 2-차원 프로파일을 기초로, 상기 프로파일의 회전 축의 방향에서 3차원으로의 연장을 수행한다. 운반 요소의 모델은 예를 들어 상기 프로파일을 축 방향에서 나선형으로 돌림으로써 생성된다. 혼련 요소의 모델은 예를 들어, 축 방향에서 부분적으로 연속되는 프로파일에 의해 생성되며, 상기 부분은 서로에 대하여 오프셋되고, 따라서 서로에 대하여 오프셋되는 디스크가 제조된다.

[0045] 컴퓨터에서 스크류 압출기를 나타내는 것은 컴퓨터 그리드의 형태로 수행된다. 배럴의 내부 표면과 스크류 압출기의 표면 사이의 부피는 그에 의해, 예를 들어 사면체 또는 육면체와 같은 (예를 들어 문헌 [1] 참조) 다면체로 이루어진 컴퓨터 그리드로 맞물려 있다.

[0046] 컴퓨터 그리드 및 압출되는 물질의 물질 데이터, 및 스크류 압출기와 압출되는 물질이 사용되는 스크류 기계의 작동 데이터가 흐름 시뮬레이션을 위해 프로그램에 입력되고, 흐름 조건이 시뮬레이션된다. (예를 들어 문헌 [1] 참조).

[0047] 흐름 시뮬레이션의 결과는 예를 들어 흐름, 압력 및/또는 온도 장의 형태로 입수 가능하다 (문헌 [1]의 147 내지 168면 참조). 문헌 [1]에서 언급된 페이지에 기재된 것과 같이, 운반 및 동력 특성은 상기 흐름 시뮬레이션으로부터 결정될 수 있다. 본 발명에 따르면, 결과 특성은 시뮬레이션 결과로부터 결정되고, 사용되는 각각의 값들의 조합에 관하여 설정될 수 있다. 운반 및 동력 특성(문헌 [1]의 158면 참조)은 축방향 부분 및/또는 직선의 기울기를 계산하기 위해 바람직하게 사용되고 (부피 흐름의 함수로서 압력 차이, 부피 흐름의 함수로서 동력), 이들은 결과 특성으로 사용된다.

[0048] 일단 시뮬레이션 계산이 수행되고 결과 특성이 결정되면, 데이터-기반 모델의 제작이 수행된다 (단계 d). 이러한 모델은 상응하는 결과 특성(출력 파라미터)에 관하여 입력 변수(입력 파라미터)의 값들의 조합을 설정하고자 의도된다. 상기 모델은, 데이터 사이의 실제 물리적 관계가 알려지고/거나 입력되어야 할 필요 없이, 사용 가능한 데이터(값의 조합, 결과 특성)를 기초로 이러한 관계를 수행하기 때문에 데이터-기반 모델이라 불린다.

[0049] 사용 가능한 입력 및 출력 변수로부터 데이터-기반 모델의 생성은 당업계의 일반적인 기술 상태이다. 공지된 데이터-기반 모델은 예를 들어 선형 및 비선형 회귀 모델 (예를 들어 문헌 [Hastie, Tibshirani, Friedman: *The Elements of Statistical Learning*, Springer, 2001] 참조), 선형 근사법, 인공 신경 그물구조 (예를 들어 퍼셉트론 (perceptron), 회귀성 그물구조)(예를 들어 문헌 [Andreas Zell, *Simulation neuronaler Netze [simulation of neural networks]*], ISBN 3-486-24350-0, 또는 [Raul Rojas: *Theorie der Neuronalen Netze [theory of neural networks]*], ISBN 3-540-56353-9 또는 [McKay, David J. C. (September 2003), *Information Theory, Inference and Learning Algorithms*, Cambridge: Cambridge University Press], ISBN 0-521-64298-1 참조), 지지 벡터 기계 (예를 들어 문헌 [B. Schoelkopf, A. Smola: *Learning with Kernels*, MIT Press, 2002] 참조), 혼성 모델(예를 들어 문헌 [A.A. Schuppert: *Extrapolability of structured hybrid models: a key to optimization of complex processes*, in: B. Fiedler, K. Groeger. J. Sprekels (Eds.), Proceedings of Equadiff' 99, 2000, pp. 1135-1151] 또는 [G. Mogk, T. Mrziglod, A. Schuppert: *Application of hybrid models in chemical industry*, in: J. Grievink, J. van Schijndel (Eds.), Proceedings of European Symposium on Computer Aided Process Engineering, vol. 12, The Hague, The Netherlands, May 26-29, 2002, Elsevier Science B.V., pp. 931-936] 또는 EP-A1253491 참조)이다.

[0050] 혼성 모델이 바람직하게 사용된다.

[0051] 모든 종류의 모델은 그 모델의 입력-출력 성질이 정의된 의미에서 적정하도록, 생성된 시뮬레이션 데이터(트레

이닝)를 이용하여 결정되는 파라미터를 포함한다. 다양한 종류의 모델에 특이적인 트레이닝 방법은 인용된 문헌에서 찾아볼 수 있다. 예를 들어 2-단계 퍼셉트론을 위해 효율적인 트레이닝 방법은 문헌 [F. Baermann, F. Biegler-Koenig, *Neural Networks* 1992, 5(1), 139-144]에 기재되어 있다.

[0052] 또한, 단계 (d)에서, 모델의 품질 평가가 수행된다. 이는 예를 들어 예측의 신뢰성을 점검함으로써 실증 데이터를 이용하여 수행될 수 있다 (예를 들어, 문헌 [Chiles, J.-P. and P. Delfiner (1999) *Geostatistics, Modeling Spatial Uncertainty*, Wiley Series in Probability and statistics] 참조). 파라미터 공간의 다양한 영역에서 의존성의 당위성 점검은 선행 지식을 이용하여 바람직하게 수행된다.

[0053] 결과적으로, 시뮬레이션 계산이 수행되었으나 데이터-기반 모델(실증 데이터)을 생성하기 위해 사용되지 않은 값들의 조합이 모델의 품질 평가를 위해 바람직하게 사용된다. 상기 데이터-기반 모델이 어느 정도까지 "미지의" 시나리오의 결과도 예측할 수 있는지가 연구된다. 이 경우, 각각의 의도된 용도가 모델의 요구되는 품질을 결정한다. 모델의 품질 측정은 예를 들어, 계산된 시뮬레이션 결과와 그 모델에 의해 예상되는 모델 결과 사이의 최대 편차이다. 압출 공정의 모델화에서, 5%, 바람직하게는 2%의 최대 편차가 모델의 적절한 품질인 것으로 밝혀졌다.

[0054] 모델의 품질이 적절하지 않을 경우, 본 발명에 따르면, 파라미터 공간을 새로 정의하고/거나, 파라미터 공간을 표현하는 값들의 다른 및/또는 추가의 조합을 선택한다. 결과적으로, 본 발명에 따르면, 결과 특성이 상기 데이터-기반 모델을 이용하여 충분히 정확하게 계산될 수 있을 때까지, 단계 (a) 내지 (e) 중 하나 이상의 반복이 단계 (e)에서 가능한 대로 수행된다.

[0055] 본 발명에 따른 기재된 방법의 결과는 예측 도구로 사용될 수 있는 최적화된 데이터-기반 모델이다.

[0056] 예측 도구는 예를 들어 플라피 디스크, CD, DVD, 하드 디스크, 메모리 스틱 등과 같은 기계-판독가능한 데이터 운반체 위에 프로그램 코드로 입수 가능할 수 있다. 기계-판독가능한 데이터 운반체 위에 위치한 예측 도구는 컴퓨터의 메인 메모리 내로 읽힐 수 있다. 컴퓨터 및 컴퓨터에 연결된 입력 및 출력 장치를 이용하여, 사용자는 상기 예측 도구를 작동시킬 수 있으며, 즉 상기 데이터-기반 모델 내로 값을 입력하고 결과 특성을 계산할 수 있다. 사용자는 여기에서 그래픽으로 된 사용자 인터페이스에 의해 바람직하게 지원된다. 상기 예측 도구를 컴퓨터 내로 판독될 수 있는 프로그램과 유사한 방식으로 적절한 주변기(입력 및 출력 장치)에 의해 작동하는 마이크로칩으로 실현하는 것도 유사하게 가능하다.

[0057] 본 발명의 주제는 또한 상기 예측 도구를 생성하기 위해 기재된 방법에 따라 생성되는 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 예측 도구이다.

[0058] 예측 도구는 예를 들어 압출 공정에서 신규의 또는 개조된 스크류 압출기의 거동을 계산하기 위해 사용될 수 있다. 예측 도구는 예를 들어, 공정 파라미터의 변화된 값의, 압출되는 물질에 미치는 영향을 측정하기 위해 사용될 수 있다.

[0059] 그러므로, 본 발명의 추가의 주제는 압출되는 물질의 압출에서 스크류 압출기의 거동을 예측하기 위한 방법이다. 상기 방법은 적어도 하기 단계를 포함한다.

[0060] (I) 예측 도구로서 데이터-기반 모델을 제작하는 단계,

[0061] (II) 스크류 압출기, 압출 공정 및 압출되는 물질에 대한 특징화 값을 데이터-기반 모델에 입력하는 단계,

[0062] (III) 데이터-기반 모델을 이용하여 결과 특성을 계산하는 단계, 및

[0063] (IV) 결과를 출력하는 단계.

[0064] 본 발명에 따른 방법의 단계 (I) 내지 (IV)는 명시된 순서로 바람직하게 수행된다.

[0065] 단계 (I)에서 데이터-기반 모델의 제작은 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 예측 도구를 제작하기 위한 방법에 관하여 전술한 것과 같이 수행된다.

[0066] 단계 (II)에서, 예측이 이루어지는 시나리오를 표현하는 값들의 입력이 이루어진다. 이들은 스크류 압출기의 기하학적 형태에 대한 값들, 압출되는 물질을 특징짓는 값들, 그리고 압출 공정을 정의하는 값들이다.

[0067] 입력은 통상적으로, 예측 도구가 그 위에서 소프트웨어 프로그램으로 진행될 수 있는 컴퓨터 시스템 상의 마우스 및/또는 키보드를 이용하여 수행된다.

[0068] 단계 (III)에서, 데이터-기반 모델에 의한 결과 특성의 계산이 수행된다. 상기 계산은 일반적으로 단일 시뮬레

이션에 필요한 매우 짧은 시간 안에 수행된다.

[0069] 단계 (IV)에서는 마지막으로, 결과의 출력이 수행된다. 결과는 계산된 결과 특성 자체일 수 있다. 이들은 컴퓨터 스크린 위에 값으로 디스플레이될 수 있다. 결과 특성으로부터 유래된 값들 또는 변수들도 디스플레이될 수 있다. 결과를 나타내는 것은 바람직하게는 그래픽으로 및/또는 색상 코딩에 의해 수행된다.

[0070] 압출 공정에서 스크류 압출기의 거동을 순수하게 예측하는 것과는 별도로, 스크류 압출기 및/또는 압출 공정의 최적화는 예측 도구에 의해서도 가능하다. 따라서 본 발명의 추가의 주제는 스크류 압출기의 기하학적 형태 및/또는 압출 공정을 최적화하기 위한 방법이다.

[0071] 상기 방법은 적어도 하기 단계를 포함한다.

(A) 예측 도구로서 데이터-기반 모델을 제작하는 단계,

(B) 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 목표 프로파일을 정의하는 단계,

(C) 정의된 목표 프로파일을 만족시키고/거나 상기 목표 프로파일에 가장 가까워지는 값들의 조합을 확인하는 단계, 및

(D) 단계 (C)에서 결정된 값들의 조합을 출력하는 단계.

[0076] 본 발명에 따른 방법의 단계 (A) 내지 (D)는 명시된 순서로 바람직하게 수행된다.

[0077] 단계 (A)에서 데이터-기반 모델의 제작은 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 예측 도구를 제작하는 방법에 관해 전술한 것과 같이 수행된다.

[0078] 단계 (B)에서, 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 목표 프로파일이 정의된다. 목표 프로파일의 정의는 (입력) 값들의 구해진 조합에 부합되도록 의도되는 모든 결과 특성 (출력)에 대한 규칙을 작성하는 것을 포함한다. 예를 들어, 압출되는 물질의 최대 온도 증가 또는 압출기를 통해 압출되는 물질을 운반하는 데 필요한 최소의 압력 구축을 정의하는 것이 가능하다.

[0079] 규정된 목표 프로파일을 만족시키거나 그에 가장 가까워지는 값들의 조합을 위한 검색은 데이터-기반 모델을 이용하여 단계 (C)에서 수행된다. 데이터-기반 모델을 이용하여, 다수의 값들(입력 파라미터)의 조합에 대한 결과 특성(출력 파라미터)이 매우 짧은 시간에 계산될 수 있고, 그 결과로 입력 파라미터에 대한 값들의 특정 변동 및 출력 파라미터에 대한 값을 목표 프로파일과 비교하는 것이 목표 프로파일을 만족시키거나 그에 가장 가까워지는 입력 변수를 얻게 한다. 규정된 프로파일을 얻기 위한 값들의 "적정" 조합을 위한 이러한 검색은 예를 들어 몬테 카를로 (Monte Carlo) 방법, 진화적 최적화 (유전적 알고리즘), 시뮬레이션된 어닐링 등과 같은 공지의 최적화 방법에 의해 지원될 수 있다. 최적화 방법의 개요는 예를 들어 서적 [M. Berthold et al., *Intelligent Data Analysis*, Springer, Heidelberg 1999]에 기재되어 있다.

[0080] 마지막으로, 단계 (D)에서, 상기 정의된 목표 프로파일을 만족시키고/거나 그에 가장 가까워지는 값들의 조합의 출력이 수행된다. 바람직하게는, 계산된 결과 파라미터, 및 상기 목표 프로파일로부터 계산된 결과 파라미터의 편차의 출력이 또한 수행된다. 출력은 컴퓨터 스크린 또는 프린터 상에서 숫자 및/또는 그래픽의 형태로 수행될 수 있다.

[0081] 상기 예측 도구는 또한 신규의 스크류 압출기를 생성하는 데 사용될 수 있다. 그러므로 본 발명의 추가의 주제는 적어도 하기 단계를 포함하는, 스크류 압출기의 제조 방법이다.

[0082] (i) 예측 도구로서 데이터-기반 모델을 제작하는 단계,

[0083] (ii) 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 목표 프로파일을 정의하는 단계,

[0084] (iii) 정의된 목표 프로파일을 만족시키고/거나 그 목표 프로파일에 가장 가까워지는 스크류 압출기를 위한 값들의 조합을 정의하는 단계,

[0085] (iv) 단계 (iii)에서 결정된 값들의 조합을 출력 및/또는 저장하는 단계, 및

[0086] (v) 단계 (iii)에서 결정된 값들의 조합에 기초하여 스크류 압출기를 제작하는 단계.

[0087] 본 발명에 따른 방법의 단계 (i) 내지 (v)는 바람직하게는 상기 명시된 순서로 수행된다.

[0088] 단계 (i) 내지 (iii)은 스크류 압출기의 기하학적 형태 및/또는 압출 공정을 최적화하기 위한 방법의 단계 (A)

내지 (C)에 해당한다. 따라서, 규정된 응용의 경우에 대하여 최적화된 스크류 압출기의 기하학적 형태가 결정된다. 컴퓨터 상에서 계산된 상기 기하학적 형태를 실제 스크류 압출기를 생성하는 데 사용한다 (단계 (v)). 스크류 압출기의 기하학적 데이터는 스크류 요소를 생성하기 위한 CNC 기계 도구 (CNC = 컴퓨터 수치 제어)에 직접 공급될 수 있는 포맷으로 바람직하게 변형된다. 그러한 포맷은 당업자에게 공지되어 있다.

[0089] 일단 기재된 방식으로 그 기하학적 형태가 생성되면, 스크류 압출기는 예를 들어 제분 (milling) 기계, 회전 (turning) 기계 또는 휘젓는 (whirling) 기계에 의해 생성될 수 있다. 스크류 압출기를 생성하기 위한 바람직한 재료는 스틸, 특히 질화강, 크로뮴강, 공구강 및 특수강, 철, 니켈 또는 코발트를 기재로 하는 분말-야금 제조된 금속성 복합 재료, 예를 들어 시르코니아 또는 탄화규소와 같은 엔지니어링 세라믹 재료이다.

[0090] 여기에 나타낸 본 발명에 따르는 모든 방법은 바람직하게는 컴퓨터 상에서 수행된다. 본 발명의 주제는 또한 본 발명에 따른 방법 중 하나를 수행하기 위한 컴퓨터 시스템이다. 더 나아가서, 본 발명의 추가의 주제는 컴퓨터 상에서 본 발명에 따른 방법 중 하나를 수행하기 위한 프로그램 코딩 수단을 갖는 컴퓨터 프로그램 제품이다.

[0091] 본 발명을 실시예에 근거하여 이하에 더욱 상세히 설명하지만, 이에 국한되는 것은 아니다.

#### 실시예 1: 에르멩거 스크류 프로파일을 갖는 이중-플라이트의 스크류 요소를 위한 예측 도구의 제작

[0093] 본 실시예는 하기 단계를 포함하는, 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 예측 도구의 제작 방법을 기재한다.

[0094] (a) 파라미터 공간을 정의하는 단계,

[0095] (b) 파라미터 공간 내에서 값들의 대표적인 조합을 선택하는 단계,

[0096] (c) 시뮬레이션 계산을 이용하여 값들의 선택된 조합에 대한 결과 특성을 계산하고,

[0097] (d) 값들의 선택된 조합 및 계산된 결과 특성을 기반으로 데이터-기반 모델을 제작하는 단계, 및

[0098] (e) 결과 특성이 데이터-기반 모델을 이용하여 충분히 정확하게 계산될 수 있을 때까지 가능한 대로 단계 (a) 내지 (e)의 하나 이상을 반복하는 단계.

#### 단계 (a): 파라미터 공간의 정의

[0100] 문헌 [1]의 151면에 기재된 것과 같이, 에르멩거 스크류 프로파일을 갖는 운반 요소의 기하학적 형태는 6 가지 기하학적 파라미터를 명시함으로써 고유하게 정의된다. 이를 6 가지 파라미터는 플라이트의 수, 배럴 직경, 중심선 거리, 스크류와 배럴 사이의 간극, 두 스크류 사이의 간극 및 피치이다. 파라미터의 수를 줄이고 일반적으로 타당한 표시를 수득하기 위해, 무차원의 기하학적 파라미터가 편리하게 도입된다. 배럴 직경은 기준 변수로 선택된다. 이에 뒤따라, 에르멩거 스크류 프로파일을 갖는 운반 요소의 기하학적 형태는 5 가지의 무차원 기하학적 파라미터를 명시함으로써 고유하게 정의된다. 이를 5 가지의 파라미터는 플라이트의 수 Z, 무차원의 중심선 거리 A, 무차원인 스크류와 배럴 사이의 간극 D, 무차원인 두 스크류 사이의 간극 S, 및 무차원의 피치 T이다.

[0101] 실제로, 1, 2 또는 3의 플라이트 수 Z를 갖는 운반 요소가 전형적으로 사용된다. 별도의 예측 도구가 플라이트의 각각의 수에 대하여 편리하게 제작된다. 상기 예에서, 이중-플라이트의 운반 요소가 고려된다. 그러므로 Z=2이다. 결과적으로, 값의 범위가 정의되어야 하는 4 가지의 무차원 특성이 남는다. 무차원인 중심선 거리 A의 경우,  $0.72 \leq A \leq 0.93$ 의 값의 범위가 선택되었다. 무차원인 스크류와 배럴 사이의 간극 D의 경우,  $0.002 \leq D \leq 0.024$ 의 값의 범위가 선택되었다. 무차원인 두 스크류 사이의 간극의 경우,  $0.004 \leq S \leq 0.060$ 의 값의 범위가 선택되었다. 무차원인 피치 T의 경우,  $0.3 \leq T \leq 4.0$ 의 값의 범위가 선택되었다.

[0102] 도 1a에, 자가-세정 및 긴밀하게 맞물리는 에르멩거 스크류 프로파일의 구조적 디자인을 나타낸다. 에르멩거 스크류 프로파일은  $90^\circ$ 의 각으로 교차하는 2개의 대칭 축을 갖는다. 그러므로 스크류 프로파일의 1/4을 생성한 다음, 대칭 축에서의 반사에 의해 완전한 스크류 프로파일을 수득하는 것이 적절하다.

[0103] 도 1a를 이하에 더욱 상세히 설명한다. 도면의 중간에 좌표의 xy 계가 놓이고, 그 원점에 스크류 프로파일의 회전점이 위치한다. 스크류 프로파일의 호는 두꺼운 실선으로 확인되며, 이는 각각의 숫자의 호를 구비하고 있다. 호의 중심점은 작은 원으로 표시된다. 호의 중심점은 연합된 호의 출발점과 끝점의 둘 다까지 가는 실선에 의해 연결되어 있다. 직선 FP는 가는 점선으로 나타낸다.

- [0104] 에르맹거 스크류 프로파일의 1/4은 2 x 2 호로부터 수득되고, 이들은 서로 상응한다. 2개의 상응하는 호(1과 1', 2와 2')의 반경의 합은 중심선 거리와 같다. 반경 1과 1'은 외부 반경과 같거나 코어 반경과 같다. 반경 2와 2'는 0과 같거나 중심선 거리와 같다. 두 상응하는 호의 중심각은 같은 크기이다. 중심각 1과 2의 합은  $\pi/4$ 와 같다. 호 1과 1'의 중심점은 좌표의 원점에 놓여 있다. 모든 호는 서로 접선으로 병합된다. 호 2와 2'는 공통된 점에서 직선 FP와 접촉한다. 좌표의 원점으로부터 직선 FP의 거리는 중심선 거리의 절반과 같고, 그 선의 기울기는 -1이다.
- [0105] 도 1a에서, 무차원의 중심선 거리는  $A=0.8333$ 이고, 무차원의 외부 반경은  $RA=0.5$ 이며, 무차원의 코어 반경은  $RK=0.3333$ 이다. 상응하는 호 1과 1'; 2와 2'는 라디안 척도로 각각 0.1997 및 0.5857의 중심각을 갖는다.
- [0106] 예를 들어 문헌 [1]의 27 내지 30면에 나타난 것과 같이, 스크류 요소 및 배럴을 포함하는 배열은 실제로 간극이라 알려진 것을 항상 갖는다. 당업자는 규정된, 자가-세정의, 긴밀하게 맞물리는 스크류 프로파일로부터 간극을 갖는 스크류 프로파일을 유도하는 방법을 알고 있다. 이를 위한 공지의 방법은 예를 들어 문헌 [1]의 28면 이하에 기재된 중심선 거리의 증가, 종단면 등거리 및 공간 등거리의 가능성이다. 중심선 거리를 증가시킬 경우, 더 작은 직경의 스크류 프로파일이 구성되고 스크류들 사이의 간극의 크기만큼 서로 당겨진다. 종단면 등거리의 방법의 경우, 종단면 프로파일 곡선이 (각 요소의 회전 축과 평행임) 스크류-스크류 간극의 반 만큼, 회전축의 방향에서, 프로파일 곡선에 수직으로 안쪽으로 옮겨진다. 공간 등거리의 방법의 경우, 스크류 요소가 서로를 세정하는 공간 곡선으로부터 출발하여, 스크류 요소는 완전히 닦아내는 프로파일의 표면에 수직인 방향으로 스크류-스크류 간극의 반 만큼 크기가 감소한다. 본 예에서, 공간 등거리가 사용된다.
- [0107] 도 1b는 자가-세정의, 도 1a에 따르는 긴밀하게 맞물리는 에르맹거 스크류 프로파일과, 8각형 스크류 배럴 내에 간극을 가지고 그로부터 유래된 스크류 프로파일의 둘 다를 보여준다. 스크류 배럴은 가는 점선으로 나타낸다. 2개의 배럴 구멍이 침투하는 내부에서, 2개의 구멍은 가는 점선으로 확인된다. 2개의 배럴 구멍의 중심점은 스크류 프로파일의 두 회전점과 동일하고, 각각 작은 원으로 확인된다. 긴밀하게 맞물리는, 자가-세정의 스크류 프로파일은 두꺼운 실선으로 확인된다. 간극을 갖는 스크류 프로파일은 가는 실선으로 표시된다. 간극을 갖는 스크류 프로파일은 공간 등거리의 방법에 의해 수득되었다. 두 스크류들 사이의 무차원 간극은  $S=0.02$ 이다. 스크류와 배럴 사이의 무차원 간극은  $D=0.01$ 이다. 연합된 스크류 요소의 무차원 피치는  $T=1$ (공간 등거리의 방법의 경우, 간극을 갖는 스크류 프로파일은 피치에 따라 좌우됨)이다.
- [0108] 단계 (b): 파라미터 공간 내에서 값들의 대표적 조합의 선택
- [0109] 도 2는 선택된 파라미터 공간 중 무차원 중심선 거리  $A$ 와 무차원 피치  $T$  사이의 값들의 255개 조합을 나타낸다. 값들의 조합은 다양한 방법으로 정의될 수 있다. 파라미터 공간 내의 특정 값에 특별한 관심이 있을 경우, 값들의 특히 많은 수의 조합이 이 값에 대하여 놓일 수 있다. 예를 들어, 무차원 중심선 거리  $A=0.82$ 는 통상의 스크류 압출기가 정밀하게 상기 중심선 거리를 갖기 때문에 특별한 관심을 받는다. 그러므로,  $A=0.82$ 에서,  $T=0.3$ 과  $T=2.0$  사이의 가상 선 위에서 값들의 특히 많은 수의 조합이 존재한다. 유사하게 생각하면,  $A=0.8$ 과  $A=0.9$  사이에서  $T=2.0$ 에서 값들의 특히 많은 수의 조합을 발견한다. 값들의 추가의 조합은 예를 들어 값들의 개별적인 조합이 가능한 서로로부터 멀리 있도록 분포될 수 있다.  $A=0.91$ 과  $A=0.93$  사이의 범위에서, 초기에는 값들의 조합이 존재하지 않는다. 도 2에서 값들의 조합의 2-차원 거리는 4-차원 파라미터 공간에서의 진정한 거리를 나타낼 수 없다.
- [0110] 도 3은 선택된 파라미터 공간에서 무차원의 중심선 거리  $A$ 와 무차원의 피치  $T$  사이의 값들의 1015개 조합을 나타낸다. 필요하다면, 파라미터 공간은 나중에 그 크기가 증가할 수 있다. 이제  $A=0.91$  내지  $A=0.93$ 의 범위에서 값들의 유사한 조합이 존재한다. 더 나아가서, 값들의 조합의 수가 일반적으로 증가하는 것과는 별도로, 값들의 조합은 파라미터 공간의 주변에서 특별하게 설정된다. 데이터-기반 모델은 매우 제한된 외삽법만을 허용한다. 그러므로 파라미터 공간의 주변에 이르는 내삽을 보장하기 위해, 공간의 주변에 특히 값들의 조합을 제공하는 것이 중요하다.
- [0111] 단계 (c): 시뮬레이션 계산을 이용한, 값들의 선택된 조합에 대한 결과 특성의 계산
- [0112] 값들의 선택된 조합에 기초하여, 결과 특성의 계산을 시뮬레이션 계산을 이용하여 수행하였다.
- [0113] 결과 특성은 예를 들어 기하학적 특성일 수 있다. 기하학적 특성은 예를 들어, 스크류 요소의 플라이트 착지각, 외부 반경에 대한 스크류 요소의 피치 각, 코어 반경에 대한 스크류 요소의 피치 각, 스크류 요소의 단면적, 스크류 요소의 스크류 표면, 배럴 표면, 스크류 표면과 배럴 표면의 합, 스크류 요소의 자유 단면적(즉 스크류 요소와 배럴 사이의, 그를 통해 흐름이 통과할 수 있는 단면적) 및 스크류 요소의 피치에 대한 이미

언급된 면적(즉, 예를 들어, 피치에 대한 스크류 표면)이다. 언급된 기하학적 특성은 스크류 요소의 기하학적 형태를 생성하기 위한, 특히 운반 요소, 혼련 요소, 혼합 요소 및 전이 요소의 기하학적 형태를 생성하기 위한 시뮬레이션 프로그램에서 유리하게 계산된다.

[0114] 결과 특성은 예를 들어 스크류 요소에서 흐름 공정을 계산하기 위해 사용되는 컴퓨터 그리드의 그리드 품질을 평가하기 위한 특성일 수 있다. 컴퓨터 그리드의 그리드 품질을 평가하기 위한 특성은 예를 들어, 비대칭도 (*skewness*), 종횡비 및 웨곡도(*warpage*)이다 (문헌 [Gambit's User's Guide, Fluent Inc, Lebanon, NH, USA, 2006] 참조). 그리드 품질의 언급된 특성은 스크류 요소를 위한 컴퓨터 그리드를 생성하기 위한, 특히 운반 요소, 혼련 요소, 혼합 요소 및 전이 요소에 대한 컴퓨터 그리드를 생성하기 위한 시뮬레이션 프로그램에서 유리하게 계산된다.

[0115] 결과 특성은 예를 들어 스크류 요소의 작동 성질을 특징짓기 위한 특성일 수 있다. 당업자가 알고 있는 바와 같이, 그리고 문헌 [1]의 129 내지 146면에서 읽어볼 수 있듯이, 운반, 혼련 및 혼합 요소와 같은 스크류 요소의 작동 성질은 압력-차이/처리량 특성에 의해, 그리고 동력/처리량 특성에 의해 표현될 수 있다. 상이한 압출기 크기로 더 쉽게 전이 가능하도록, 압력 차이, 동력 및 처리량의 변수가 그들의 무차원 형태로 종종 사용된다. 뉴턴 흐름 거동을 갖는 플라스틱 조성물의 경우, 압력 차이와 처리량 사이, 그리고 동력과 처리량 사이의 둘 다에 선형 관계가 존재한다. 압력-차이/처리량 특성에서, 축의 교점을 A1 및 A2로 표시한다 (문헌 [1], 133면). 작동 점 A1은 스크류 요소의 고유한 처리량을 나타낸다. 작동 점 A2는 처리량 없이 압력 구축 능력을 나타낸다. 동력/처리량 특성에서, 축의 교점을 B1 및 B2로 표시한다 (문헌 [1], 136면). 점 B1은 터빈 점으로 알려진 것이다. 처리량이 B1보다 클 경우, 동력은 스크류 샤프트에 대한 출력이다. 작동 점 B2는 처리량 없는 동력 요구량을 나타낸다.

[0116] 압력 구축 영역에서, 도입되는 동력의 일부만이 흐름 동력으로 전환될 수 있다. 도입된 동력의 나머지는 소실된다. 흐름 동력은 처리량과 압력 차이의 곱으로 계산된다. 압력 차이가 0과 같거나 (A1) 처리량이 0과 같으므로 (A2), 축의 교점 A1 및 A2에서 흐름 동력은 각 경우 0과 같다는 것을 당업자는 쉽게 인식할 것이다. A1과 A2 사이의 영역에서, 압력 차이 및 처리량의 둘 다는 0보다 커서, 양의 흐름 동력의 결과를 가져온다. 처리량에 의해 제공된 작동 점의 흐름 동력을 상기 작동 점에서 스크류 샤프트에 의한 출력인 동력으로 나눌 경우, 상기 작동 점에서 압력의 구축 효율이 수득된다. 처리량 및 이어지는 뿌리 찾기를 근거로 효율을 유도함으로써, 스크류 요소의 최대 효율을 찾을 수 있다.

[0117] 문헌 [K. Kohlgrueber, *Co-Rotating Twin-Screw Extruders*, Hanser Verlag, 2007, ISBN 978-3-446-41372-6]의 126면에 기재된 것과 같이, 회전 당 처리량이 작동 점 A1보다 적고 반대 압력이 없을 경우, 스크류 요소에 부분적 충전이 나타난다. 충전도가 0을 향하는 경향이 있을 경우, 스크류 요소의 동력 요구량은 작동 점 B4로 표시된다. 상기 작동 상태에서, 샤프트 및 배럴은 용융물로 적셔지지만, 생성물은 운반되지 않는다. 작동 점 A1에서 이루어지는, 스크류 요소의 완전한 충전의 때까지, 동력 요구량은 충전도와 함께 증가한다. 작동 점 A1에서 요구되는 동력 요구량은 B5로 나타낸다.

[0118] 스크류 요소의 작동 거동을 특징짓기 위한 특성은 예를 들어 작동 점 A1, A2, B1, B2, B4 및 B5 및 주어진 생성물 처리량에 있어서 압력 구축 효율 및 최대의 수득 가능한 압력 구축 효율이다. 스크류 요소, 특히 운반 요소, 혼련 요소, 혼합 요소 및 전이 요소의 작동 거동을 특징짓기 위한 언급된 특성은 흐름 시뮬레이션 프로그램(CFD 프로그램)에서 유리하게 계산된다.

[0119] 단계 (d): 값들의 선택된 조합 및 계산된 결과 특성에 근거한 데이터-기반 모델의 제작

[0120] 사용 가능한 입력 및 출력 변수로부터 데이터-기반 모델을 생성하는 것은 당업계의 일반적인 기술 상태이다. 공지의 데이터-기반 모델은 예를 들어: 선형 및 비선형의 회귀 모델, 직선 근사 방법, 인위적 신경 회로망, 지지 벡터 기계, 혼성 모델이다.

[0121] 에르맹거 스크류 프로파일을 갖는 이중-플라이트의 스크류 요소를 위한 예측 도구를 제작하기 위해, 혼성 모델을 사용하였다.

[0122] 도 3에 따르는 값들의 조합에 근거하여, 도 4는 무차원의 중심선 거리 A (수평 축) 및 무차원의 피치 T (수직 축)에 따르는, 이중-플라이트 운반 요소의 예측된 플라이트 착지각을 보여준다. 스크류들 사이의 무차원 간극은 S=0.02로 설정된다. 스크류와 배럴 사이의 무차원 간극은 D=0.01로 설정된다.

[0123] 도 3에 따르는 값들의 조합에 근거하여, 도 5는 무차원의 중심선 거리 A 및 무차원의 피치 T에 따르는 이중-플라이트 운반 요소의 예측된 압력 구축 파라미터 A2를 보여준다. 스크류들 사이의 무차원 간극은 S=0.02로 설정

된다. 스크류와 배럴 사이의 무차원 간극은 D=0.01로 설정된다.

[0124] 계산된 및 예측된 압력 구축 파라미터 A2 사이에 수행된 비교는 다음의 결과를 초래하였다. 값들의 모든 조합이 비교에 포함되는 경우, 11.3%의 표준 편차를 가지고 6.75%의 계산과 예측 사이의 평균 편차가 존재한다. 값들의 조합의 범위가 양의 플라이트 착지각을 갖는 스크류 요소로 제한될 경우에는, 5.16%의 표준 편차를 가지고 4.04%의 계산과 예측 사이의 평균 편차가 존재한다. 값들의 조합의 범위가, 각 경우 5%의 파라미터 공간의 한계로부터의 거리가 유지되어야 할 정도로 (파라미터의 길이는 100%과 같음) 더 제한될 경우에는, 3.59%의 표준 편차를 가지고 3.22%의 계산과 예측 사이의 평균 편차가 존재한다.

[0125] 도 4 및 5의 비교로부터, 특히 0보다 작거나 같은 플라이트 착지각의 범위에서는, 압력 구축 파라미터 A2가 매우 크게 변하는 것이 분명하다. 그 결과, 값들의 조합의 같은 밀도를 가지고, 열등한 예측 정확도가 상기 범위에서 수득된다. 또한, 예측 정확도는, 파라미터 공간의 주변에서 값들의 추가의 조합을 설정함에도 불구하고, 주변으로 갈수록 어느 정도 감소된다.

[0126] 단계 (e): 데이터-기반 모델을 이용하여 결과 특성이 충분히 정확하게 계산될 수 있을 때까지, 단계 (a) 내지 (e)의 하나 이상을 가능한 대로 반복함

[0127] 본 실시예의 과정에서는, 단계 (b) 내지 (d)를 반복하였다. 3.59%의 표준 편차를 갖는 평균 3.22%의 예측 정확도는 스크류 압출기의 디자인의 경우 종종 허용가능하지 않다.

[0128] 값들의 조합의 수는 총 3358개까지 증가하였다. 값들의 추가의 조합은 한편으로는 파라미터 공간에서 가능한 고르게 분포하였고, 다른 한편으로는 다시 한 번 추가의 값들의 조합이 상기 파라미터 공간의 주변에서 설정되었다. 결과 특성의 국소적 편차 변수 또는 국소적 구배에 상응하는 방식으로, 값들의 추가 조합을 설정하는 가능성은 채택되지 않았다.

[0129] 결과 특성의 계산 및 새로운 데이터-기반 모델의 생성 후, 계산된 및 예측된 압력 구축 파라미터 A2 사이에 비교를 다시 한 번 수행하였다. 값들의 모든 조합이 비교에 포함될 경우, 4.74%의 표준 편차를 가지고 3.07%의 계산과 예측 사이의 평균 편차가 존재한다. 값들의 조합의 범위가 양의 플라이트 착지각을 갖는 스크류 요소로 제한될 경우에는, 2.41%의 표준 편차를 가지고 1.91%의 계산과 예측 사이의 평균 편차가 존재한다. 값들의 조합의 범위가, 각 경우 5%의 파라미터 공간의 한계로부터의 거리가 유지되어야 할 정도로 (파라미터의 길이는 100%과 같음) 더 제한될 경우에는, 1.55%의 표준 편차를 가지고 1.52%의 계산과 예측 사이의 평균 편차가 존재한다. 58%에 이르는 평균 편차와 표준 편차의 감소가 존재한다.

[0130] 1.55%의 표준 편차를 가지고 평균 1.52%의 예측 정확도가 스크류 압출기의 디자인에 적절하다.

[0131] 실시예 2: 에르멩거 스크류 프로파일과 비교한, 감소된 플라이트 착지 각을 갖는 이중-플라이트 스크류 요소를 위한 예측 도구의 제작

[0132] 단계 (a): 파라미터 공간의 정의

[0133] 이후 리타 (Rita) 스크류 요소(리타 = 감소된 팁 각 (reduced tip angle))라 불리는, 감소된 플라이트 착지 각을 갖는 스크류 요소는 에르멩거 스크류 프로파일에 비하여 감소된 플라이트 착지 각을 갖는다. 적절한 플라이트 착지 각 R은 각 경우에 리타 스크류 프로파일의 플라이트 착지 각 및 에르멩거 스크류 프로파일의 플라이트 착지 각의 지수로 정의되고, 자가-세정의, 긴밀하게 맞물리는 스크류 프로파일이 이 경우 고려된다. 적절한 플라이트 착지 각 R의 경우,  $0 \leq R \leq 1$ 의 파라미터 공간이 선택된다. 리타 스크류 요소의 추가의 무차원 파라미터 및 연합된 파라미터 공간은 실시예 1로부터의 에르멩거 요소에 해당한다.

[0134] 도 6a는 자가-세정의, 긴밀하게 맞물리는 리타 스크류 프로파일을 보여준다. 도 6a의 기본 구조는 도 1a의 것에 상응한다. 리타 스크류 프로파일의  $1/4$ 은  $2 \times 3$ 개 호로부터 수득되며, 이들은 서로에 상응한다. 도 6a에서, 무차원의 중심선 거리는  $A=0.8333$ 이다. 반경 1 및  $1'$ 은 외부 반경  $RA=0.5$ 와 같거나 코어 반경  $RK=0.3333$ 과 같다. 반경 2 및  $2'$ 은 0과 같거나 중심선 거리와 같다. 반경 3 및  $3'$ 은 중심선 거리의 0.9와 같거나 중심선 거리의 0.1과 같다. 상응하는 호 1과  $1'$ , 2와  $2'$ ; 그리고 3과  $3'$ 은 각각 라디안 척도로 0.0999, 0.4035 및 0.2820의 중심 각을 갖는다. 호 1과  $1'$ 의 중심점은 좌표의 원점에 놓인다. 모든 호는 서로와 접선으로 병합된다. 호 3과  $3'$ 은 같은 점에서 직선 FP와 접촉한다.

[0135] 도 6b는 도 6a에 따르는 자가-세정의, 긴밀하게 맞물리는 리타 스크류 프로파일, 및 8각형 스크류 배럴 내에 간극을 갖는 그로부터 유래된 스크류 프로파일의 둘 다를 보여준다. 도 6b의 구조는 도 1b에 상응한다. 간극을 갖는 스크류 프로파일은 공간 등거리의 방법에 의해 수득된다. 두 스크류들 사이의 무차원 간극은  $S=0.01$ 이다.

스크류와 배럴 사이의 무차원 간극은  $D=0.01$ 이다. 연합된 스크류 요소의 무차원 피치는  $T=1$ 이다.

[0136] 단계 (b): 파라미터 공간 내에서 값들의 대표적 조합의 선택

도 7은 선택된 파라미터 공간 중 무차원 중심선 거리 A와 상대적 플라이트 착지 각  $R$  사이의 값들의 6005개 조합을 나타낸다. 상기 값들의 조합 중에서,  $R=1$ 의 상대적 플라이트 착지 각을 갖는 값들의 3358개 조합을 실시 예 1로부터 취한다. 값들의 추가 2647개 조합은  $R=1$ 보다 작은 상대적 플라이트 착지 각을 갖는 값들이다. 값들의 조합의 선택은 첫 번째 실시예에 기재된 방법에 의해 수행된다.

[0138] 에르멩거 스크류 요소에 기초하여, 새로운 스크류 요소가 스크류 압출기 및/또는 압출 공정을 위한 예측 도구로 이음매 없이 통합될 수 있다. 예측 도구는 새로운 리타 스크류 요소 및 에르멩거 스크류 요소의 둘 다를 포함한다. 별법으로,  $R=1$ 보다 작은 상대적 플라이트 착지 각을 갖는 값들의 2647개 조합만으로 이루어진 예측 도구를 제작하는 것도 가능하다.

[0139] 단계 (c): 시뮬레이션 계산을 이용한, 값들의 선택된 조합에 대한 결과 특성의 계산

[0140] 값들의 선택된 조합을 기반으로, 시뮬레이션 계산을 이용하여 결과 특성의 계산을 수행하였다. 첫 번째 실시 예에서와 같은 결과 특성이 계산된다.

[0141] 단계 (d): 값들의 선택된 조합 및 계산된 결과 특성에 근거한 데이터-기반 모델의 제작

[0142] 리타 스크류 프로파일을 갖는 이중-플라이트 스크류 요소에 대한 예측 도구를 제작하기 위해 혼성 모델을 사용하였다. 생성된 데이터-기반 모델은 원하는 결과 특성의 예측을 가능하게 한다.

[0143] 도 7에 따르는 값들의 조합에 근거하여, 도 8은 무차원의 중심선 거리 A (수평 축) 및 무차원 피치 T (수직 축)에 따라  $R=1$ 의 상대적 플라이트 착지 각을 갖는 이중-플라이트 리타 운반 요소 - 에르멩거 스크류 요소에 해당함 -의 예측된 작동 점 B2를 보여준다. 스크류들 사이의 무차원 간극은  $S=0.01$ 로 설정되었다. 스크류와 배럴 사이의 무차원 간극은  $D=0.01$ 로 설정되었다. 도 9도 마찬가지로,  $R=0.5$ 의 상대적 플라이트 착지 각을 갖는 이중-플라이트 리타 운반 요소의 예측된 작동 점 B2를 보여준다. 보다 작은 상대적 플라이트 착지 각  $R$ 은 보다 적은 양의 에너지가 압출기 내로 도입되는 것을 선도한다는 것이 비교에 의해 밝혀졌다.

[0144] 도 8 및 도 9의 아래 왼쪽에 각각 표시된 그늘진 영역은 음의 플라이트 착지 각이 존재하는 영역을 반영한다. 예측 도구는, 스크류 요소에 있어서, 예를 들어 플라이트 착지 각에 대한 추가의 요건과 조합된, 예를 들어 B2에 대한 요건을 결정할 수 있게 한다.

[0145] 계산된 및 예측된 작동 점 B2 사이에 수행된 비교는 다음의 결과를 가져왔다. 양의 플라이트 착지 각을 가지며 각 경우 5%의 파라미터 공간의 한계로부터의 거리를 유지하는 (파라미터의 길이는 100%와 같음) 값들의 모든 조합이 비교에 포함되는 경우, 0.97%의 표준 편차를 가지고 계산과 예측 사이에 0.93%의 평균 편차가 존재한다.

[0146] 단계 (e): 데이터-기반 모델을 이용하여 결과 특성이 충분히 정확하게 계산될 수 있을 때까지, 단계 (a) 내지 (e)의 하나 이상을 가능한 대로 반복함

[0147] 높은 예측 정확도로 인하여, 특성의 추가 조합을 이용한 반복은 필요하지 않았다.

[0148] 첨부

[0149] 같은 방향으로 회전하는 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류 압출기를 생성하기 위한 디자인 명세

[0150] 놀랍게도, 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류 프로파일의 기하학적 형태가 기초하는 근본 원리가 발견되었다. 이들은 특허출원 PCT/EP2009/003549 및 PCT/EP2009/004249에 기재되어 있다. 이들 근본 원리는 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류 압출기가 제작되도록 디자인 명세를 가능하게 하며, 결과적으로 또한 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류 압출기를 분명하게 표현하는 파라미터가 정의될 수 있게 한다.

[0151] 상기 근본 원리는:

[0152] 1. 생성하는 스크류 프로파일 및 생성되는 스크류 프로파일의 프로파일은 원의 호로 항상 이루어질 수 있다.

[0153] 호의 크기는 그 중심각 및 그의 반경을 명시함으로써 주어진다. 이후, 호의 중심각을 줄여서 호의 각이라 약칭 한다. 호의 위치는 그의 중심점의 위치에 의해서, 그리고 그 출발점 또는 끝점의 위치에 의해 정의될 수 있고, 어느 것이 출발점이고 어느 것이 끝점인지는 고정되지 않는데, 그 이유는 호가 출발점에서 시작하고 시계방향 또는 시계반대방향으로 끝점에서 마치도록 구성될 수 있기 때문이다. 그러므로 상기 출발점 및 끝점은 서로 바

될 수 있다.

[0154] 2. 상기 프로파일의 호들은 그들의 출발점 및 끝점에서 서로 접선으로 병합된다.

[0155] 3. 근본 원리 2는 또한, 칸크가 반경이 0인 호로 표현될 경우, "칸크"을 갖는 프로파일에도 적용된다. "칸크의 크기"는 반경이 0인 호의 상응하는 각으로 주어지며, 즉 칸크의 경우, 제1 호에서 반경이 0인 제2 호의 각 주위를 회전하는 것을 거쳐 제3 호로 전이된다. 그렇지 않으면, 또 다른 방식으로: 반경이 0인 제2 호의 중심점에서 제1 호에 대한 접선이 제2 호의 각에 해당하는 각에서 제2 호의 중심점에서 마찬가지로 제3 호에 대한 접선과 교차한다. 제2 호를 고려하면, 모든 인접한 호는 제1 → 제2 → 제3으로, 서로 접선으로 병합된다. 편의를 위해, 반경이 0인 호는 반경이 eps와 같은 호와 같이 처리되며, 여기에서 eps는 0에 근접하는 경향이 있는 매우 작은 양의 실수이다 ( $\text{eps} \ll 1$ ,  $\text{eps} \rightarrow 0$ ).

[0156] 4. 생성하는 스크류 프로파일의 호는 생성되는 스크류 프로파일의 호에 각각 "상응하며", "상응한다"는 것은 다음과의 의미로 이해된다.

? 상응하는 호의 같은 같은 크기임,

? 상응하는 호의 반경의 합은 중심선 거리  $a$ 와 같음,

? 생성하는 스크류 프로파일의 호의 중심점과 그의 끝점 사이의 연결하는 선의 하나는 각 경우 생성되는 스크류 프로파일의 상응하는 호의 중심점과 그의 끝점 사이의 연결하는 선의 하나와 평행임,

? 생성하는 스크류 프로파일의 호의 끝점이 호의 중심점으로부터 놓이는 방향은, 생성되는 스크류 프로파일의 상응하는 호의 끝점이 생성되는 스크류 프로파일의 호의 중심점으로부터 놓이는 방향과 각각 반대임,

[0161] ? 생성하는 스크류 프로파일의 호의 중심점은, 중심선 거리에 해당하는 생성되는 스크류 프로파일의 상응하는 호의 중심점으로부터의 거리에 있음,

[0162] ? 생성하는 스크류 프로파일의 호의 중심점과 생성되는 스크류 프로파일의 상응하는 호의 중심점 사이의 연결하는 선은 생성하는 스크류 프로파일의 회전점과 생성되는 스크류 프로파일의 회전점 사이의 연결하는 선에 평행임,

[0163] ? 생성하는 스크류 프로파일의 호의 중심점이, 그것을 생성되는 스크류 프로파일의 상응하는 호의 중심점에 일치시키도록 변위되어야 하는 방향이, 생성하는 스크류 프로파일의 회전점이, 그것을 생성되는 스크류 프로파일의 회전점과 일치시키도록 변위되어야 하는 방향과 같음.

[0164] 상기 근본 원리에 기초하여, 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류 샤프트의 프로파일을 위한 디자인 방법이 안출될 수 있다.

[0165] 이 경우 상기 프로파일은 바람직하게는 하나의 평면에 놓인다. 생성하는 스크류 프로파일의 회전 축 및 생성되는 스크류 프로파일의 회전 축은 상기 평면에 각각 수직이며, 회전축의 상기 평면과의 교점을 회전점이라 한다. 회전점의 서로간의 거리를 중심선 거리  $a$ 라 한다. 이후,  $\pi$ 는 원의 상수를 나타내는 것으로 이해된다 ( $\pi \approx 3.14159$ ).

[0166] 제1 단계에서, 생성하는 스크류 프로파일이 생성된다. 상기 생성하는 스크류 프로파일은 생성되는 스크류 프로파일을 규정한다.

[0167] - 생성하는 스크류 프로파일을 형성하도록 의도된 호의 수  $n$ 을 선택하며,  $n$ 은 1보다 크거나 같은 자연수이다.

[0168] - 외부 반경  $ra$ 를 선택하며,  $ra$ 는 0보다 크고 ( $ra > 0$ ) 중심선 거리보다 작거나 같은 ( $ra \leq a$ ) 값을 생각할 수 있다.

[0169] - 내부 반경  $ri$ 를 선택하며,  $ri$ 는 0보다 크거나 같고 ( $ri \geq 0$ )  $ra$ 보다 작거나 같은 ( $ri \leq ra$ ) 값을 생각할 수 있다.

[0170] -  $n$ 개의 호는 생성하는 스크류 프로파일의 회전축 주위에, 하기 배열의 규칙에 해당하는 방식으로 시계방향 또는 시계반대방향으로 배열된다.

[0171] ○  $n-1$ 개 호의 크기는 선택가능한 각  $a_{-1}$ ,  $a_{-2}$ , ...,  $a_{-(n-1)}$  및 선택가능한 반경  $r_{-1}$ ,  $r_{-2}$ , ...,  $r_{-(n-1)}$ 에 의해 고정되어 있으며, 그 각은 라디안 척도로 0보다 크거나 같고  $2\pi$ 보다 작거나 같으며, 반경은 0보다 크거나 같고 중심선 거리  $a$ 보다 작거나 같음,

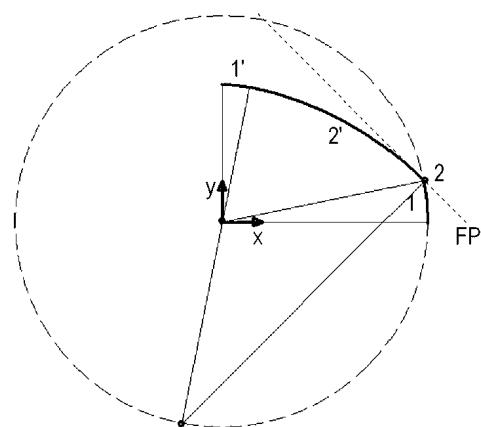
- [0172] ○ 마지막 호의 각  $a_n$ 은 n개 호의 n개 각의 합이 라디안 척도로  $2\pi$ 가 되도록 함으로써 수득됨,
- [0173] ○ 마지막 호의 반경  $r_n$ 은 상기 마지막 호가 상기 프로파일을 폐쇄하도록 함으로써 수득됨,
- [0174] ○ 모든 호는 볼록한 프로파일이 수득되도록 하는 방식으로 서로 접선으로 병합됨,
- [0175] ○ 반경이 0인 호는 바람직하게는 반경이 eps인 호와 같이 취급되며, eps는 0에 근접하는 경향이 있는 매우 작은 양의 실수임 ( $eps < 1$ ,  $eps \rightarrow 0$ ),
- [0176] ○ 각각의 호는 외부 반경이  $ra$ 이고 내부 반경이  $ri$ 인 원형 고리 내에 또는 그 한계 위에 놓이고, 그 중심점은 생성하는 스크류 프로파일의 회전점 위에 놓임,
- [0177] ○ 호의 적어도 하나는 외부 반경  $ra$ 와 접촉함,
- [0178] ○ 호의 적어도 하나는 내부 반경  $ri$ 와 접촉함.
- [0179] - 생성되는 스크류 프로파일을 형성하는 호의 수  $n'$ , 그들의 각  $a_1'$ ,  $a_2'$ , ...,  $a_n'$  및 그들의 반경  $r_1'$ ,  $r_2'$ , ...,  $r_n'$ 은 다음과 같이 수득된다.
- [0180] ○  $n' = n$
- [0181] ○  $a_1' = a_1$ ;  $a_2' = a_2$ ; ...;  $a_n' = a_n$
- [0182] ○  $r_1' = a - r_1$ ;  $r_2' = a - r_2$ ; ...;  $r_n' = a - r_n$
- [0183] - 생성되는 스크류 프로파일을 형성하는  $n'$ 개 호의 위치는 다음과 같이 수득된다.
- [0184] ○ 생성되는 스크류 프로파일의 i-번째 호의 중심점은, 중심선 거리  $a$ 와 같은, 생성하는 스크류 프로파일의 i-번째 호의 중심점으로부터의 거리를 가짐,
- [0185] ○ 생성되는 스크류 프로파일의 i-번째 호의 중심점은, 생성하는 스크류 프로파일의 회전점으로부터 생성하는 스크류 프로파일의 i-번째 호의 중심점의 거리에 상응하는 생성되는 스크류 프로파일의 회전점으로부터의 거리를 가짐,
- [0186] ○ 생성되는 스크류 프로파일의 i-번째 호의 중심점과 생성하는 스크류 프로파일의 i-번째 호의 중심점 사이의 연결하는 선은 생성되는 스크류 프로파일의 회전점과 생성하는 스크류 프로파일의 회전점 사이의 연결하는 선에 평행임,
- [0187] ○ 생성되는 스크류 프로파일의 i-번째 호의 출발점은, 생성하는 스크류 프로파일의 프로파일의 i-번째 호의 출발점이 생성하는 스크류 프로파일의 i-번째 호의 중심점에 대하여 놓여있는 방향에 반대인, 생성되는 스크류 프로파일의 프로파일의 i-번째 호의 중심점에 대한 방향으로 놓여짐,
- [0188] 여기에서  $i$  및  $i'$ 은 각각 1부터 호의 수  $n$  및  $n'$  ( $i'=i$ )까지 범위에서 모든 값을 아우르는 자연수이다.
- [0189] 디자인 방법은 원리적으로 삼각자와 한 자루의 컴퍼스만으로 종이 위에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 스크류 요소의 프로파일의 i-번째 호와 (i+1)-번째 호 사이의 접선 전이가 i-번째 호의 끝점 주위에서 반경  $r_{(i+1)}$ 을 갖는 원을 표현함으로써 구성될 수 있고, i-번째 호의 중심점과 끝점에 의해 정의된 직선을 갖는 원의, 스크류 요소의 회전점에 더 가까이 위치한 교점은 (i+1)-번째 호의 중심점이다. 보다 실제적으로, 그림판, 삼각자 및 한 자루의 컴퍼스를 사용하는 대신, 상기 프로파일은 실제로 컴퓨터를 이용하여 생성될 것이다.
- [0190] 특허출원 PCT/EP2009/003549에, 짹지어진 완전히 닦아내는 스크류 프로파일에 대한 추가의 디자인 명세가 기재되어 있다. 이는 구조적 디자인이 예를 들어 데카르트 좌표계를 사용하여 수행되거나 스크류 프로파일이 특정의 대칭을 갖는 경우에 수득되는 변형을 논하고 있다.
- [0191] 상기 근본 원리 및 그에 기초한 디자인 명세는, 먼저, 자가-세정 스크류 요소의 프로파일이 거의 완전히 자유롭게 디자인되는 것을 가능하게 하며, 결과적으로 파라미터의 적은 변경에 의해 응용에 대하여 최적화된다. 뿐만 아니라, 적절히 많은 수의 호에 의해, 호를 구성하지 않는, 결과적으로 자가-세정이 아닌 스크류 프로파일에 원하는 정확도로 근접하는 것이 가능하다. 이 경우, 호에 의해 근접된 프로파일은 물론 자가-세정의 것이다.
- [0192] 이러한 방식으로 스크류 압출기의 기하학적 형태도 데이터-기반 모델을 이용하는 본 발명에 따르는 최적화에 접근된다. 이를 위하여, 먼저 3-차원 스크류 요소가 2-차원 프로파일로부터 생성되어야 한다. 모든 고려될 수 있는 스크류 요소 및 전이 요소가 디자인된 스크류 프로파일로부터 생성될 수 있다. 특히, 운반, 혼련 및 혼합

요소가 생성될 수 있다.

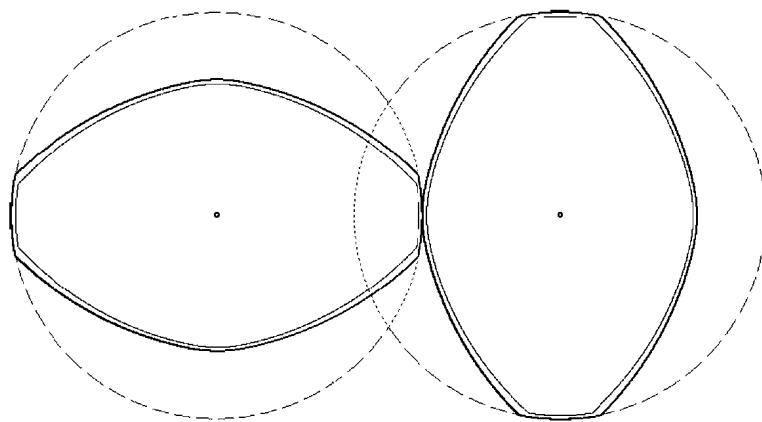
- [0193] 공지된 바와 같이 (예를 들어 문헌 [1], 227 내지 248면 참조), 운반 요소는 스크류 프로파일이 나선형 방식으로 연속적으로 돌고 축 방향으로 계속된다는 사실에 의해 구별된다. 이 경우, 운반 요소는 오른손 방향 또는 왼손 방향일 수 있다. 운반 요소의 피치는 바람직하게는 중심선 거리의 0.1 내지 10배의 범위 내이고, 여기에서 피치는 스크류 프로파일의 완전한 회전을 위해 필요한 축방향 길이를 의미하는 것으로 이해되며, 운반 요소의 축방향 길이는 바람직하게는 중심선 거리의 0.1 내지 10배의 범위 내에 있다.
- [0194] 공지된 바와 같이 (예를 들어 문헌 [1], 227 내지 248면 참조), 혼련 요소는 스크류 프로파일이 축 방향에서 혼련 디스크의 형태로 오프셋 방식으로 계속된다는 사실에 의해 구별된다. 혼련 디스크의 배열은 오른손 방향 또는 왼손 방향 또는 중립일 수 있다. 혼련 디스크의 축방향 길이는 바람직하게는 중심선 거리의 0.05 내지 10배의 범위 내이다. 2개의 인접하는 혼련 디스크 사이의 축 거리는 바람직하게는 중심선 거리의 0.002 내지 0.1배의 범위 내이다.
- [0195] 공지된 바와 같이 (예를 들어 문헌 [1], 227 내지 248면 참조), 혼합 요소는 운반 요소가 스크류 플라이트 착지부에 개구부를 구비한다는 사실에 의해 구별된다. 혼합 요소는 오른손 방향 또는 왼손 방향일 수 있다. 그들의 피치는 중심선 거리의 0.1 내지 10배의 범위 내에 있으며, 상기 요소의 축방향 길이는 중심선 거리의 0.1 내지 10배의 범위 내에 있다. 개구부는 바람직하게는 u-모양 또는 v-모양의 홈의 형태를 가지며, 이는 바람직하게는 운반에 반대되거나 축을 따라 평행으로 배열된다.
- [0196] 전이 요소는 2개의 상이한 스크류 프로파일들 사이의 연속적인 전이를 가능하게 하는 스크류 요소를 의미하기 위해 사용되는 용어이며, 스크류 프로파일의 자가-세정하는 짹이 전이의 각 지점에 존재한다. 다양한 스크류 프로파일은 예를 들어 상이한 수의 플라이트를 가질 수 있다. 전이 요소는 오른손 방향 또는 왼손 방향일 수 있다. 그들의 피치는 중심선 거리의 0.1 내지 10배의 범위 내에 있으며, 그들의 축방향 길이는 중심선 거리의 0.1 내지 10배의 범위 내에 있다.
- [0197] 당업자는 직접 닦아내는 스크류 프로파일은 이중-스크류 압출기에 직접 사용될 수 없으며, 오히려 스크류들 사이의 간극이 필요한 것으로 알고 있다.
- [0198] 당업자는 규정된, 완전히 닦아내는 스크류 프로파일로부터 간극을 갖는 스크류를 유도하기 위한 방법을 알고 있다. 이를 위해 공지된 방법은, 예를 들어 문헌 [1]의 28면 이하에 기재된, 중심선 거리의 증가, 종단면 등거리 및 공간 등거리의 가능성이다. 중심선 거리를 증가시키는 경우, 더 작은 직경의 스크류 프로파일이 구성되고 스크류들 사이의 간극의 거리만큼 멀어지도록 당겨진다. 종단면 등거리의 방법의 경우, 종단면 프로파일 곡선 (각 요소의 회전축에 평행인)은 프로파일 곡선에 수직으로, 회전 축의 방향에서, 스크류-스크류 간극의 절반만큼 안쪽으로 변위된다. 공간 등거리의 방법의 경우, 스크류 요소가 그 위에서 서로를 세정하는 공간 곡선에서 시작하여, 스크류 요소의 크기는 완전히 닦아내는 프로파일의 표면에 수직인 방향으로 스크류-스크류 간극의 절반만큼 감소한다. 종단면 등거리 및 공간 등거리가 바람직하게 사용되며, 특히 바람직한 것은 공간 등거리이다.

## 도면

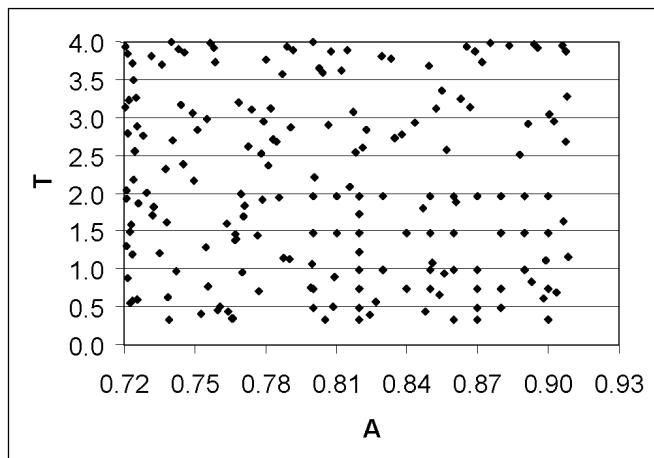
### 도면 1a



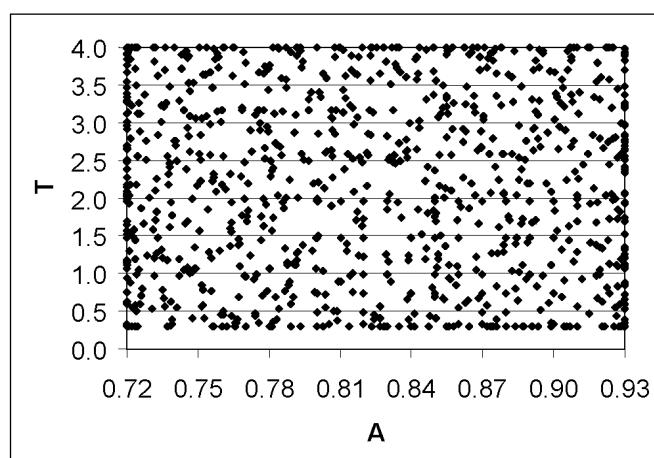
도면1b



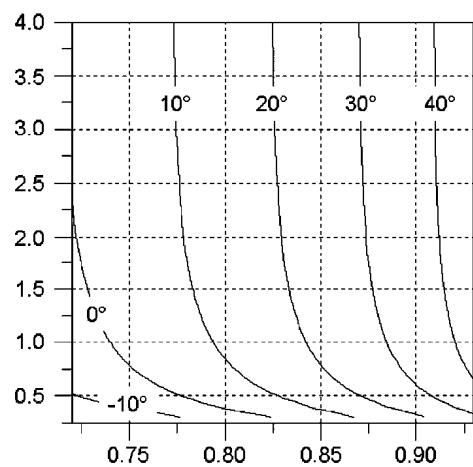
도면2



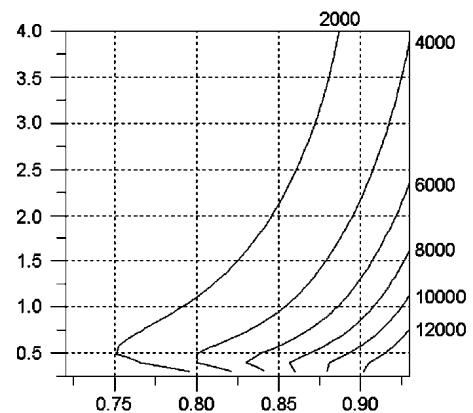
도면3



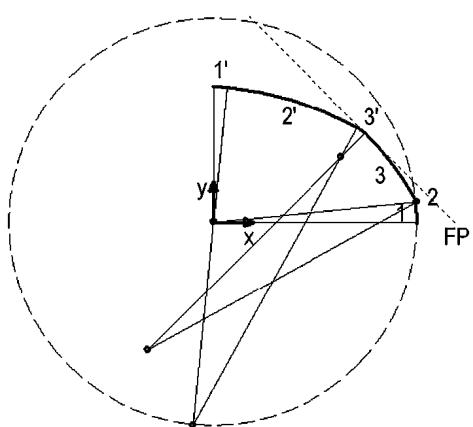
도면4



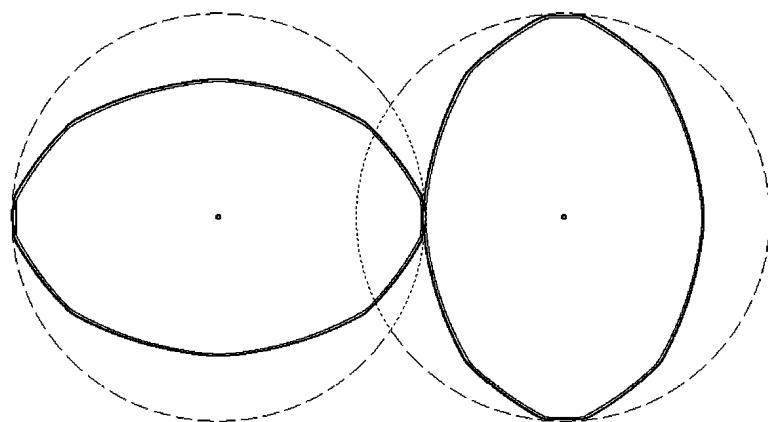
도면5



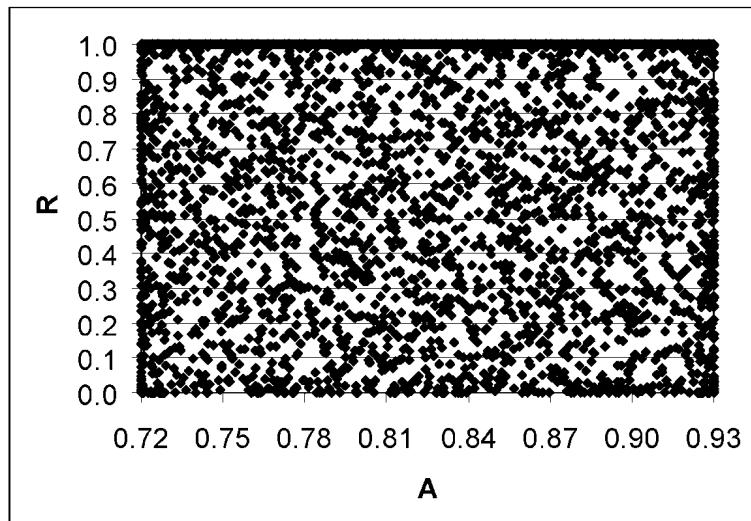
도면6a



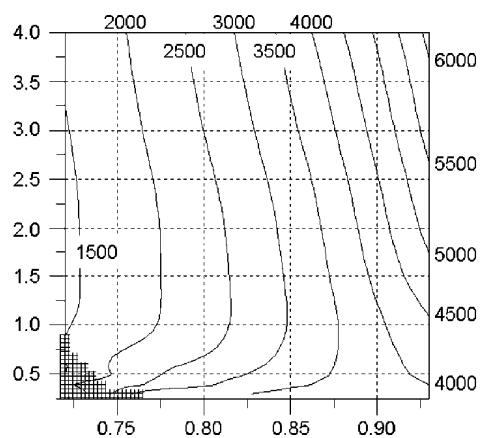
도면6b



도면7



도면8



도면9

