



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년12월10일
(11) 등록번호 10-1927629
(24) 등록일자 2018년12월04일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 17/50 (2006.01) G06F 17/11 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G06F 17/5009 (2013.01)
G06F 17/11 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2017-0087742
- (22) 출원일자 2017년07월11일
심사청구일자 2017년07월11일
- (56) 선행기술조사문헌
“DETERMINING AERODYNAMIC PROPERTIES OF SPORTS BALLS IN SITU”, MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING WASHINGTON STATE UNIVERSITY, 2010. 08.*
“The effect of spin on the flight of a baseball”, University of Illinois : American Journal of Physics Vol.76(2)(pp. 119-124), 2008. 02.*
“SECRET OF OH SEUNH HWAN'S FASTBALL”, 한국전산유체공학회 2016년도 추계학술대회 논문집(p. 27), 2016. 11.
KR1020120064561 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
- (72) 발명자
안형택
울산광역시 울주군 범서읍 장검길 123, 106동 2003호 (문수마을동문굿모닝힐)
- (74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 8 항

심사관 : 박승철

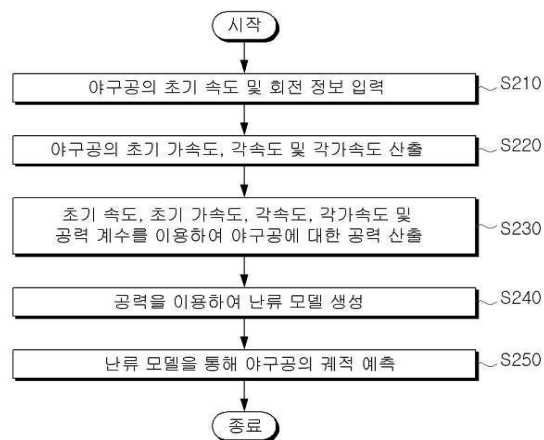
(54) 발명의 명칭 전산 유체 역학 해석을 이용한 야구공 궤적 예측 장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 전산 유체 역학 해석을 이용한 야구공 궤적 예측 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 야구공 궤적 예측 장치를 이용한 야구공 궤적 예측 방법에 있어서, 야구공 궤적 예측 방법은 야구공의 초기 속도 및 회전 정보를 입력받는 단계, 상기 야구공의 초기 속도 및 회전 정보를 이용하여 상기 야 (뒷면에 계속)

대표도 - 도2



구공의 초기 가속도, 각속도 및 각가속도를 산출하는 단계, 상기 야구공의 초기 속도, 초기 가속도, 각속도, 각가속도 및 전산 유체 역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 해석을 통해 결정된 공력 계수를 이용하여 6자유도 운동에 따라 상기 야구공에 대한 공력(aerodynamic force)을 산출하는 단계, 그리고 상기 공력과 기 설정된 6자유도 운동 방정식을 이용하여 난류 모델을 생성하는 단계, 그리고 상기 난류 모델을 이용하여 상기 야구공의 궤적을 예측하는 단계를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 선형 모델과 비선형 모델을 포함한 공력 유체 모델을 이용하므로 야구공의 공력을 정확히 산출할 수 있고, 이에 따라 야구공의 운동 궤적을 정확히 예측할 수 있다.

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

야구공 궤적 예측 장치를 이용한 야구공 궤적 예측 방법에 있어서,
 야구공의 초기 속도 및 회전 정보를 입력받는 단계,
 상기 야구공의 초기 속도 및 회전 정보를 이용하여 상기 야구공의 초기 가속도, 각속도 및 각가속도를 산출하는 단계,
 상기 야구공의 초기 속도, 초기 가속도, 각속도, 각가속도 및 전산 유체 역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 해석을 통해 결정된 공력 계수를 이용하여 6자유도 운동에 따라 상기 야구공에 대한 공력(aerodynamic force)을 산출하는 단계,
 상기 공력과 기 설정된 6자유도 운동 방정식을 이용하여 난류 모델을 생성하는 단계, 그리고
 상기 난류 모델을 이용하여 상기 야구공의 궤적을 예측하는 단계를 포함하고,
 상기 공력을 산출하는 단계는,
 상기 초기 속도 및 각속도에 대응하는 선형화 유체 모델, 상기 초기 가속도 및 각가속도에 대응하는 선형화 유체 모델, 그리고 상기 초기 속도 및 각속도에 대응하는 비선형화 유체 모델을 이용하여 6자유도 운동에 따라 상기 야구공에 대한 공력을 산출하는 야구공 궤적 예측 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 공력 계수는,
 선형 감쇠 계수, 비선형 감쇠 계수 및 부가 질량을 포함하며,
 상기 부가 질량은 상기 야구공의 형상 및 공기 밀도에 따라 결정되고,
 상기 선형 감쇠 계수 및 비선형 감쇠 계수는 야구공의 표면 및 재봉선과 상기 야구공으로부터 일정 거리에 위치한 공간의 3차원 격자 형상을 이용하는 전산 유체 역학 해석을 통해 결정되는 야구공 궤적 예측 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,
 상기 3차원 격자 형상은,
 상기 야구공의 표면 및 재봉선을 비정렬 격자를 이용하여 모델링하고,
 상기 야구공의 표면 및 재봉선으로부터 제1 임계 거리 이내에 위치한 공간을 비등방성 사면체 격자를 이용하여 모델링하며,
 상기 제1 임계 거리와 상기 제1 임계 거리보다 긴 제2 임계 거리 사이에 위치한 공간을 등방성 사면체 격자를 이용하여 모델링하여 형성되는 야구공 궤적 예측 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 공력을 산출하는 단계는,

아래의 수학적식을 이용하여 6자유도 운동에 따라 상기 야구공에 대한 공력(τ_{hd})을 산출하는 야구공 궤적 예측 방법:

$$\tau_{hd} = M_a \dot{\nu} + D_l \nu + D_n \nu |\nu|$$

여기서 M_a 는 상기 부가 질량에 대한 6*6 행렬을 나타내고, D_l 은 상기 선형 감쇠 계수에 대한 6*6 행렬을 나타내고, D_n 은 상기 비선형 감쇠 계수에 대한 6*6 행렬을 나타내고, $\dot{\nu}$ 는 상기 가속도 및 각가속도에 대한 6*1 행렬을 나타내고, ν 는 상기 초기 속도 또는 각속도에 대한 6*1 행렬을 나타낸다.

청구항 6

야구공의 초기 속도 및 회전 정보를 입력받는 입력부,

상기 야구공의 초기 속도 및 회전 정보를 이용하여 상기 야구공의 초기 가속도, 각속도 및 각가속도를 산출하고, 상기 야구공의 초기 속도, 초기 가속도, 각속도, 각가속도 및 전산 유체 역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 해석을 통해 결정된 공력 계수를 이용하여 6자유도 운동에 따라 상기 야구공에 대한 공력(aerodynamic force)을 산출하되, 상기 초기 속도 및 각속도에 대응하는 선형화 유체 모델, 상기 초기 가속도 및 각가속도에 대응하는 선형화 유체 모델, 그리고 상기 초기 속도 및 각속도에 대응하는 비선형화 유체 모델을 이용하여 6자유도 운동에 따라 상기 야구공에 대한 공력을 산출하는 연산부,

상기 공력과 기 설정된 6자유도 운동 방정식을 이용하여 난류 모델을 생성하는 난류 모델 생성부, 그리고 상기 난류 모델을 이용하여 상기 야구공의 궤적을 예측하는 궤적 예측부를 포함하는 야구공 궤적 예측 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 공력 계수는,

선형 감쇠 계수, 비선형 감쇠 계수 및 부가 질량을 포함하며,

상기 부가 질량은 상기 야구공의 형상 및 공기 밀도에 따라 결정되고,

상기 선형 감쇠 계수 및 비선형 감쇠 계수는 야구공의 표면 및 재봉선과 상기 야구공으로부터 일정 거리에 위치한 공간의 3차원 격자 형상을 이용하는 전산 유체 역학 해석을 통해 결정되는 야구공 궤적 예측 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 3차원 격자 형상은,

상기 야구공의 표면 및 재봉선을 비정렬 격자를 이용하여 모델링하고,

상기 야구공의 표면 및 재봉선으로부터 제1 임계 거리 이내에 위치한 공간을 비등방성 사면체 격자를 이용하여 모델링하며,

상기 제1 임계 거리와 상기 제1 임계 거리보다 긴 제2 임계 거리 사이에 위치한 공간을 등방성 사면체 격자를 이용하여 모델링하여 형성되는 야구공 궤적 예측 장치.

청구항 9

삭제

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 연산부는,

아래의 수학적식을 이용하여 6자유도 운동에 따라 상기 야구공에 대한 공력(τ_{hd})을 산출하는 야구공 궤적 예측 장치:

$$\tau_{hd} = M_a \dot{\nu} + D_l \nu + D_n \nu |\nu|$$

여기서 M_a 는 상기 부가 질량에 대한 6*6 행렬을 나타내고, D_l 은 상기 선형 감쇠 계수에 대한 6*6 행렬을 나타내고, D_n 은 상기 비선형 감쇠 계수에 대한 6*6 행렬을 나타내고, $\dot{\nu}$ 는 상기 가속도 및 각가속도에 대한 6*1 행렬을 나타내고, ν 는 상기 초기 속도 또는 각속도에 대한 6*1 행렬을 나타낸다.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전산 유체 역학 해석을 이용한 야구공 궤적 예측 장치 및 그 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 야구공의 형상, 속도 및 회전수, 야구공 표면상 재봉선의 위치 등에 의해 발생하는 공력을 통해 야구공의 궤적을 예측하는 전산 유체 역학 해석을 이용한 야구공 궤적 예측 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 근대 구기 종목 스포츠 경기에서, 투척된 공 주위에 작용하는 유체력의 이해에 관련된 연구는 스포츠 경기의 성능 향상뿐만 아니라, 유체역학적인 측면에서 매우 복잡한 현상을 포함하기에 스포츠과학, 운동역학 및 유체역학의 학제적인 연구 분야로서 다양한 관심을 불러일으키고 있다.

[0003] 운동경기중 인간에 의하여 투척되어 자유비행을 하는 공의 해석을 위해서는 비교적 복잡한 유체역학적인 분석이 필요하다. 야구공의 경우, 투수의 손을 떠나는 초기속도(150 km/h)와 야구공의 직경을 기준으로 Reynolds 수가 약 2.17×10^5 으로, 야구공에 작용하는 정확한 공력의 예측을 위해서는 야구공 표면상의 경계층의 천이나 야구공의 후류에 있어서 난류의 영향을 고려하여야 한다.

[0004] 하지만 야구공이나 골프공과 같이 공의 형상이나 표면이 정확하고 부드러운 구면에서 벗어나는 경우에는 이러한 공 자체의 정확한 형상과 표면정보를 표현하는데 어려움이 따르게 된다. 뿐만 아니라 공이 공기 중을 활강하는 중에, 일정 각속도를 가지고 회전을 하는 경우 회전에 의한 양력 및 항력의 변화를 정확히 예측하는 과정이 필요하며, 이를 최종적인 궤적예측에 반영하여야 한다.

[0005] 종래 투척된 야구공에 대하여 직구 구종에 해당하는 회전을 고려한 경우에 대한 해석을 진행한 사례가 있으나, 야구공 특유의 실밥과 재봉선을 비교적 간단한 표면 주름으로 표현하여 해석한 경우로서 궤적 예측의 정확도가 낮은 문제점이 있다.

[0006] 또한 야구공의 회전수가 공기역학적으로 어떤 차이를 발생시키며, 궁극적으로 그 회전에 의한 공력변화가 공이 홈플레이트까지 도달하는 전체적인 궤적에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 수행되지 않았다.

[0007] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국공개특허 제10-2016-0149924호(2016.12.28.공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 야구공의 형상, 속도 및 회전수, 야구공 표면상 재봉선의 위치 등에 의해 발생하는 공력을 통해 야구공의 궤적을 예측하는 전산 유체 역학 해석을 이용한 야구공 궤적 예측 장치 및 그 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면 야구공 궤적 예측 장치를 이용한 야구공 궤적 예

측 방법에 있어서, 야구공 궤적 예측 방법은 야구공의 초기 속도 및 회전 정보를 입력받는 단계, 상기 야구공의 초기 속도 및 회전 정보를 이용하여 상기 야구공의 초기 가속도, 각속도 및 각가속도를 산출하는 단계, 상기 야구공의 초기 속도, 초기 가속도, 각속도, 각가속도 및 전산 유체 역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 해석을 통해 결정된 공력 계수를 이용하여 6자유도 운동에 따라 상기 야구공에 대한 공력(aerodynamic force)을 산출하는 단계, 그리고 상기 공력과 기 설정된 6자유도 운동 방정식을 이용하여 난류 모델을 생성하는 단계, 그리고 상기 난류 모델을 이용하여 상기 야구공의 궤적을 예측하는 단계를 포함한다.

[0010] 상기 공력 계수는, 선형 감쇠 계수, 비선형 감쇠 계수 및 부가 질량을 포함하며, 상기 부가 질량은 상기 야구공의 형상 및 공기 밀도에 따라 결정되고, 상기 선형 감쇠 계수 및 비선형 감쇠 계수는 야구공의 표면 및 재봉선과 상기 야구공으로부터 일정 거리에 위치한 공간의 3차원 격자 형상을 이용하는 전산 유체 역학 해석을 통해 결정될 수 있다.

[0011] 상기 3차원 격자 형상은, 상기 야구공의 표면 및 재봉선을 비정렬 격자를 이용하여 모델링하고, 상기 야구공의 표면 및 재봉선으로부터 제1 임계 거리 이내에 위치한 공간을 비등방성 사면체 격자를 이용하여 모델링하며, 상기 제1 임계 거리와 상기 제1 임계 거리보다 긴 제2 임계 거리 사이에 위치한 공간을 등방성 사면체 격자를 이용하여 모델링하여 형성될 수 있다.

[0012] 상기 공력을 산출하는 단계는, 상기 초기 속도 및 각속도에 대응하는 선형화 유체 모델, 상기 초기 가속도 및 각가속도에 대응하는 선형화 유체 모델, 그리고 상기 초기 속도 및 각속도에 대응하는 비선형화 유체 모델을 이용하여 6자유도 운동에 따라 상기 야구공에 대한 공력을 산출할 수 있다.

[0013] 상기 공력을 산출하는 단계는, 아래의 수학적식을 이용하여 6자유도 운동에 따라 상기 야구공에 대한 공력(τ_{hd})을 산출할 수 있다.

$$\tau_{hd} = M_a \dot{v} + D_l v + D_n v|v|$$

[0014] 여기서 M_a 는 상기 부가 질량에 대한 6*6 행렬을 나타내고, D_l 은 상기 선형 감쇠 계수에 대한 6*6 행렬을 나타내고, D_n 은 상기 비선형 감쇠 계수에 대한 6*6 행렬을 나타내고, \dot{v} 는 상기 가속도 및 각가속도에 대한 6*1 행렬을 나타내고, v 는 상기 초기 속도 또는 각속도에 대한 6*1 행렬을 나타낸다.

[0016] 본 발명의 다른 실시예에 따른 야구공 궤적 예측 장치는 야구공의 초기 속도 및 회전 정보를 입력받는 입력부, 상기 야구공의 초기 속도 및 회전 정보를 이용하여 상기 야구공의 초기 가속도, 각속도 및 각가속도를 산출하고, 상기 야구공의 초기 속도, 초기 가속도, 각속도, 각가속도 및 전산 유체 역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 해석을 통해 결정된 공력 계수를 이용하여 6자유도 운동에 따라 상기 야구공에 대한 공력(aerodynamic force)을 산출하는 연산부, 상기 공력과 기 설정된 6자유도 운동 방정식을 이용하여 난류 모델을 생성하는 난류 모델 생성부, 그리고 상기 난류 모델을 이용하여 상기 야구공의 궤적을 예측하는 궤적 예측부를 포함한다.

발명의 효과

[0017] 이와 같이 본 발명에 따르면, 선형 모델과 비선형 모델을 포함한 공력 유체 모델을 이용하므로 야구공의 공력을 정확히 산출할 수 있고, 이에 따라 야구공의 운동 궤적을 정확히 예측할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 야구공 궤적 예측 장치의 구성도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 야구공 궤적 예측 방법의 순서도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 야구공의 3차원 격자 형상을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 야구공 및 주변 공간의 3차원 격자 형상을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현

될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

- [0020] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0021] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.
- [0022] 우선 도 1을 통해 본 발명의 실시예에 따른 야구공 궤적 예측 장치에 대해 살펴보도록 한다. 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 야구공 궤적 예측 장치의 구성도이다.
- [0023] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 야구공 궤적 예측 장치(100)는 입력부(110), 연산부(120), 난류 모델 생성부(130) 및 궤적 예측부(140)를 포함한다.
- [0024] 우선 입력부(110)는 야구공의 초기 속도, 회전 정보 및 물성 정보를 입력받는다.
- [0025] 다음으로 연산부(120)는 입력받은 초기 속도 및 회전 정보를 이용하여 야구공에 미치는 공력, 즉 공기력을 산출한다.
- [0026] 먼저 연산부(120)는 야구공의 초기 속도 및 회전 정보를 이용하여 야구공의 초기 가속도, 각속도 및 각가속도를 산출한다.
- [0027] 그리고 연산부(120)는 야구공의 초기 속도, 초기 가속도, 각속도, 각가속도 및 전산 유체 역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 해석을 통해 결정된 공력 계수를 이용하여 6자유도 운동에 따라 야구공에 대한 공력(aerodynamic force)을 산출한다.
- [0028] 이때 연산부(120)는 초기 속도 및 각속도에 대응하는 선형화 유체 모델, 초기 가속도 및 각가속도에 대응하는 선형화 유체 모델, 그리고 초기 속도 및 각속도에 대응하는 비선형화 유체 모델을 이용하여 6자유도 운동에 따라 야구공에 대한 공력을 산출한다.
- [0029] 다음으로 난류 모델 생성부(130)는 공력과 기 설정된 6자유도 운동 방정식을 이용하여 난류 모델을 생성한다.
- [0030] 그리고 궤적 예측부(140)는 난류 모델을 이용하여 야구공의 궤적을 예측한다.
- [0031] 도 2를 통해 본 발명의 실시예에 따른 야구공 궤적 예측 장치를 이용한 야구공 궤적 예측 방법에 대해 살펴보도록 한다. 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 야구공 궤적 예측 방법의 순서도이다.
- [0032] 우선 입력부(110)는 야구공의 초기 속도 및 회전 정보를 입력받는다(S210).
- [0033] 여기서 야구공의 초기 속도란 야구공에 가해지는 힘이 종료된 후 측정되는 야구공의 속도를 의미한다. 예를 들어 투수가 공을 던진 시점에서 야구공의 속도이다. 본 발명의 실시예에 따르면 야구공의 운동은 6자유도 운동에 따르므로, 야구공의 초기 속도는 x축 내지 z축 방향에 대한 초기 속도를 포함한다.
- [0034] 그리고 회전 정보는 야구공에 가해지는 힘이 종료된 후 측정되는 야구공의 회전량을 의미한다. 예를 들어 투수가 공을 던진 시점에서 야구공의 회전량이다. 본 발명의 실시예에 따르면 야구공의 운동은 6자유도 운동에 따르므로, 야구공의 회전량은 롤(roll), 요(yaw), 피치(pitch)에 대한 회전량을 포함한다.
- [0035] 그러면 연산부(120)는 야구공의 초기 속도 및 회전 정보를 이용하여 야구공의 초기 가속도, 각속도 및 각가속도를 산출한다(S220).
- [0036] 구체적으로 연산부(120)는 야구공의 초기 속도를 이용하여 초기 가속도를 산출한다. 그리고 연산부(120)는 회전 정보를 이용하여 각속도 및 각가속도를 산출한다. 이러한 산출 과정은 당업자에게 용이한 사항이므로 상세한 설명은 생략한다.
- [0037] 그러면 연산부(120)는 야구공의 초기 속도, 초기 가속도, 각속도, 각가속도 및 전산 유체 역학 해석을 통해 결정된 공력 계수를 이용하여 6자유도 운동에 따라 야구공에 대한 공력(aerodynamic force)을 산출한다(S230).
- [0038] 구체적으로 연산부(120)는 야구공의 초기 속도, 초기 가속도, 각속도, 각가속도 및 공력 계수를 통해 모델링된 공력 유체 모델을 이용하여 야구공에 대한 공력을 산출한다. 공력 유체 모델은 6자유도 운동에 따라 총 6개 방향에 대한 공력 유체 모델로 구성되며, 아래의 수학적 식 1 내지 6과 같이 나타낼 수 있다.

[0039] 우선 수학적식 1 내지 3은 6 자유도 운동 중 직선 운동(linear motion) 방향에 따른 야구공에 대한 공력 유체 모델을 나타낸다. 수학적식 1은 x축 공력 유체 모델, 수학적식 2는 y축 공력 유체 모델, 수학적식 3은 z축 공력 유체 모델을 나타낸다.

수학적식 1

$$\begin{aligned}
 X_{hd} = & X_u \dot{u} + X_v \dot{v} + X_w \dot{w} + X_p \dot{p} + X_q \dot{q} + X_r \dot{r} \\
 & + X_u u + X_v v + X_w w + X_p p + X_q q + X_r r \\
 & + X_{u|u} u|u| + X_{v|v} v|v| + X_{w|w} w|w| + X_{p|p} p|p| + X_{q|q} q|q| + X_{r|r} r|r|
 \end{aligned}$$

[0040]

[0041] 여기서 X_{hd} 는 x축 방향에 대한 공력을 나타낸다.

[0041]

[0042] X_u 는 x축에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, \dot{u} 는 x축 방향의 초기 가속도를 나타낸다. X_v 는 x축에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, \dot{v} 는 y축 방향의 초기 가속도를 나타낸다. X_w 는 x축에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, \dot{w} 는 z축 방향의 초기 가속도를 나타낸다.

[0042]

[0043] X_p 는 x축에서 물의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, \dot{p} 는 물의 초기 각가속도를 나타낸다. X_q 는 x축에서 피치의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, \dot{q} 는 피치의 초기 각가속도를 나타낸다. X_r 는 x축에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, \dot{r} 은 요의 초기 각가속도를 나타낸다.

[0043]

[0044] X_u 는 x축에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, u 는 x축 방향의 초기 속도를 나타낸다. X_v 는 x축에서 y축 방향의 초기 속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, v 는 y축 방향의 초기 속도를 나타낸다. X_w 는 x축에서 z축 방향의 초기 속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, w 는 z축 방향의 초기 속도를 나타낸다.

[0044]

[0045] X_p 는 x축에서 물의 초기 각속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, p 는 물의 초기 각속도를 나타낸다. X_q 는 x축에서 피치의 초기 각속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, q 는 피치의 초기 각속도를 나타낸다. X_r 는 x축에서 요의 초기 각속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, r 은 요의 초기 각속도를 나타낸다.

[0045]

[0046] $X_{u|u|}$ 는 x축에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $X_{v|v|}$ 는 x축에서 y축 방향의 초기 속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $X_{w|w|}$ 는 x축에서 z축 방향의 초기 속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0046]

[0047] $X_{p|p|}$ 는 x축에서 물의 초기 각속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $X_{q|q|}$ 는 x축에서 피치의 초기 각속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $X_{r|r|}$ 는 x축에서 요의 초기 각속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0047]

수학적식 2

$$\begin{aligned}
 Y_{hd} = & Y_u \dot{u} + Y_v \dot{v} + Y_w \dot{w} + Y_p \dot{p} + Y_q \dot{q} + Y_r \dot{r} \\
 & + Y_u u + Y_v v + Y_w w + Y_p p + Y_q q + Y_r r \\
 & + Y_{u|u|} u|u| + Y_{v|v|} v|v| + Y_{w|w|} w|w| + Y_{p|p|} p|p| + Y_{q|q|} q|q| + Y_{r|r|} r|r|
 \end{aligned}$$

[0048]

[0049] 여기서 Y_{hd} 는 y축 방향에 대한 공력을 나타낸다.

[0049]

[0050] $Y_{\dot{u}}$ 는 y축에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, $Y_{\dot{v}}$ 는 y축에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, $Y_{\dot{w}}$ 는 y축에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타낸다.

[0051] $Y_{\dot{p}}$ 는 y축에서 톨의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, $Y_{\dot{q}}$ 는 y축에서 피치의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, $Y_{\dot{r}}$ 는 y축에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타낸다.

[0052] Y_u 는 y축에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, Y_v 는 y축에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, Y_w 는 y축에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0053] Y_p 는 y축에서 톨의 초기 각가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, Y_q 는 y축에서 피치의 초기 각가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, Y_r 는 y축에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0054] $Y_{u|u|}$ 는 y축에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $Y_{v|v|}$ 는 y축에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $Y_{w|w|}$ 는 y축에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0055] $Y_{p|p|}$ 는 y축에서 톨의 초기 각가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $Y_{q|q|}$ 는 y축에서 피치의 초기 각가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $Y_{r|r|}$ 는 y축에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타낸다.

수학식 3

$$Z_{hd} = Z_{\dot{u}}\dot{u} + Z_{\dot{v}}\dot{v} + Z_{\dot{w}}\dot{w} + Z_{\dot{p}}\dot{p} + Z_{\dot{q}}\dot{q} + Z_{\dot{r}}\dot{r} \\ + Z_u u + Z_v v + Z_w w + Z_p p + Z_q q + Z_r r \\ + Z_{u|u|}u|u| + Z_{v|v|}v|v| + Z_{w|w|}w|w| + Z_{p|p|}p|p| + Z_{q|q|}q|q| + Z_{r|r|}r|r|$$

[0056]

[0057] 여기서 Z_{hd} 는 z축 방향에 대한 공력을 나타낸다.

[0058] $Z_{\dot{u}}$ 는 z축에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, $Z_{\dot{v}}$ 는 z축에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, $Z_{\dot{w}}$ 는 z축에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타낸다.

[0059] $Z_{\dot{p}}$ 는 z축에서 톨의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, $Z_{\dot{q}}$ 는 z축에서 피치의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, $Z_{\dot{r}}$ 는 z축에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타낸다.

[0060] Z_u 는 z축에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, Z_v 는 z축에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, Z_w 는 z축에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0061] Z_p 는 z축에서 톨의 초기 각가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, Z_q 는 z축에서 피치의 초기 각가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, Z_r 는 z축에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0062] $Z_{u|u|}$ 는 z축에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $Z_{v|v|}$ 는 z축에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $Z_{w|w|}$ 는 z축에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0063] $Z_{p|p|}$ 는 z축에서 톨의 초기 각가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $Z_{q|q|}$ 는 z축에서 피치의 초기 각가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $Z_{r|r|}$ 는 z축에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타낸다.

타낸다.

[0064] 그리고 수학적식 4 내지 6은 6 자유도 운동 중 회전 운동(angular motion) 방향에 따른 야구공에 대한 공력 유체 모델을 나타낸다. 수학적식 4는 롤 공력 유체 모델, 수학적식 5는 피치 공력 유체 모델, 수학적식 6은 요 공력 유체 모델을 나타낸다.

수학적식 4

$$K_{hd} = K_u \dot{u} + K_v \dot{v} + K_w \dot{w} + K_p \dot{p} + K_q \dot{q} + K_r \dot{r} \\ + K_u u + K_v v + K_w w + K_p p + K_q q + K_r r \\ + K_{u|u} |u| + K_{v|v} |v| + K_{w|w} |w| + K_{p|p} |p| + K_{q|q} |q| + K_{r|r} |r|$$

[0065]

[0066] 여기서 K_{hd} 는 롤 방향에 대한 공력을 나타낸다.

[0067] K_u 는 물에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, K_v 는 물에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, K_w 는 물에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타낸다.

[0068] K_p 는 물에서 물의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, K_q 는 물에서 피치의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, K_r 는 물에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타낸다.

[0069] K_u 는 물에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, K_v 는 물에서 y축 방향의 초기 속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, K_w 는 물에서 z축 방향의 초기 속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0070] K_p 는 물에서 물의 초기 각속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, K_q 는 물에서 피치의 초기 각속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, K_r 는 물에서 요의 초기 각속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0071] $K_{u|u}$ 는 물에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $K_{v|v}$ 는 물에서 y축 방향의 초기 속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $K_{w|w}$ 는 물에서 z축 방향의 초기 속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0072] $K_{p|p}$ 는 물에서 물의 초기 각속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $K_{q|q}$ 는 물에서 피치의 초기 각속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $K_{r|r}$ 는 물에서 요의 초기 각속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타낸다.

수학적식 5

$$M_{hd} = M_u \dot{u} + M_v \dot{v} + M_w \dot{w} + M_p \dot{p} + M_q \dot{q} + M_r \dot{r} \\ + M_u u + M_v v + M_w w + M_p p + M_q q + M_r r \\ + M_{u|u} |u| + M_{v|v} |v| + M_{w|w} |w| + M_{p|p} |p| + M_{q|q} |q| + M_{r|r} |r|$$

[0073]

[0074] 여기서 M_{hd} 는 피치 방향에 대한 공력을 나타낸다.

[0075] M_u 는 피치에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, M_v 는 피치에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, M_w 는 피치에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타낸다.

[0076] M_p 는 피치에서 물의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, M_q 는 피치에서 피치의 초기 각가속도에

대응하는 부가 질량을 나타내고, M_r 는 피치에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타낸다.

[0077] M_u 는 피치에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, M_v 는 피치에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, M_w 는 피치에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0078] M_p 는 피치에서 롤의 초기 각가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, M_q 는 피치에서 피치의 초기 각가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, M_r 는 피치에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0079] $M_{u|u}$ 는 피치에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $M_{v|v}$ 는 피치에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $M_{w|w}$ 는 피치에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0080] $M_{p|p}$ 는 피치에서 롤의 초기 각가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $M_{q|q}$ 는 피치에서 피치의 초기 각가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $M_{r|r}$ 는 피치에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타낸다.

수학식 6

$$N_{hd} = N_u \dot{u} + N_v \dot{v} + N_w \dot{w} + N_p \dot{p} + N_q \dot{q} + N_r \dot{r} \\ + N_u u + N_v v + N_w w + N_p p + N_q q + N_r r \\ + N_{u|u} |u| + N_{v|v} |v| + N_{w|w} |w| + N_{p|p} |p| + N_{q|q} |q| + N_{r|r} |r|$$

[0081]

[0082] 여기서 N_{hd} 는 요 방향에 대한 공력을 나타낸다.

[0083] N_u 는 요에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, N_v 는 요에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, N_w 는 요에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 부가 질량을 나타낸다.

[0084] N_p 는 요에서 롤의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, N_q 는 요에서 피치의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타내고, N_r 는 요에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 부가 질량을 나타낸다.

[0085] K_u 는 요에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, K_v 는 요에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, K_w 는 요에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0086] K_p 는 요에서 롤의 초기 각가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, K_q 는 요에서 피치의 초기 각가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타내고, K_r 는 요에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0087] $K_{u|u}$ 는 요에서 x축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $K_{v|v}$ 는 요에서 y축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $K_{w|w}$ 는 요에서 z축 방향의 초기 가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0088] $K_{p|p}$ 는 요에서 롤의 초기 각가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $K_{q|q}$ 는 요에서 피치의 초기 각가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타내고, $K_{r|r}$ 는 요에서 요의 초기 각가속도에 대응하는 비선형 감쇠 계수를 나타낸다.

[0089] 위의 수학식 1 내지 6을 정리하면, 6자유도 운동에 따른 야구공에 대한 공력(τ_{hd})은 아래의 수학식 7과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 7

[0090]
$$\tau_{hd} = M_a \dot{\nu} + D_l \nu + D_n \nu |\nu|$$

[0091] 여기서 M_a 는 부가 질량에 대한 6*6 행렬을 나타내고, D_l 은 선형 감쇠 계수에 대한 6*6 행렬을 나타내고, D_n 은 비선형 감쇠 계수에 대한 6*6 행렬을 나타내고, $\dot{\nu}$ 는 가속도 및 각가속도에 대한 6*1 행렬을 나타내고, ν 는 초기 속도 또는 각속도에 대한 6*1 행렬을 나타낸다.

[0092] 한편 공력 유체 모델은 초기 속도 및 각속도에 대응하는 선형화 유체 모델, 초기 가속도 및 각가속도에 대응하는 선형화 유체 모델 그리고 초기 속도 및 각속도에 대응하는 비선형화 유체 모델로 구성된다.

[0093] 그림 수학식 1을 통해 2개의 선형화 유체 모델 및 1개의 비선형화 유체 모델에 대해 살펴보도록 한다.

[0094] 수학식 1은 아래의 수학식 7과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 8

[0095]
$$X_{hd} = X_{hd1} + X_{hd2} + X_{hd3}$$

[0096] 여기서 X_{hd1} 은 초기 속도 및 각속도에 대응하는 선형화 유체 모델, X_{hd2} 는 초기 가속도 및 각가속도에 대응하는 선형화 유체 모델, X_{hd3} 은 초기 속도 및 각속도에 대응하는 비선형화 유체 모델을 나타낸다. 각 모델은 아래의 수학식 8 내지 10과 같다.

수학식 9

[0097]
$$X_{hd1} = X_u \dot{u} + X_v \dot{v} + X_w \dot{w} + X_p \dot{p} + X_q \dot{q} + X_r \dot{r}$$

수학식 10

[0099]
$$X_{hd2} = X_u u + X_v v + X_w w + X_p p + X_q q + X_r r$$

수학식 11

[0101]
$$X_{hd3} = X_{u|u} u|u| + X_{v|v} v|v| + X_{w|w} w|w| + X_{p|p} p|p| + X_{q|q} q|q| + X_{r|r} r|r|$$

[0102] 수학식 2 내지 6의 경우에도 수학식 8 내지 11과 같이 나타낼 수 있다. 그리고 수학식 7에서 $M_a \dot{\nu}$ 는 초기 가속도 및 각가속도에 대응하는 선형화 유체 모델, $D_l \nu$ 는 초기 속도 및 각속도에 대응하는 선형화 유체 모델, $D_n \nu |\nu|$ 는 초기 속도 및 각속도에 대응하는 비선형화 유체 모델을 나타낸다.

[0103] 수학식 7에서 2개의 선형화 유체 모델 및 1개의 비선형화 유체 모델은 아래의 수학식 12 내지 14와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 12

$$M_{ai} = \begin{bmatrix} X_u & X_v & X_w & X_p & X_q & X_r \\ Y_u & Y_v & Y_w & Y_p & Y_q & Y_r \\ Z_u & Z_v & Z_w & Z_p & Z_q & Z_r \\ K_u & K_v & K_w & K_p & K_q & K_r \\ M_u & M_v & M_w & M_p & M_q & M_r \\ N_u & N_v & N_w & N_p & N_q & N_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cdot \\ u \\ v \\ w \\ p \\ q \\ r \end{bmatrix}$$

[0104]

수학식 13

$$D_i \nu = \begin{bmatrix} X_u & X_v & X_w & X_p & X_q & X_r \\ Y_u & Y_v & Y_w & Y_p & Y_q & Y_r \\ Z_u & Z_v & Z_w & Z_p & Z_q & Z_r \\ K_u & K_v & K_w & K_p & K_q & K_r \\ M_u & M_v & M_w & M_p & M_q & M_r \\ N_u & N_v & N_w & N_p & N_q & N_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ p \\ q \\ r \end{bmatrix}$$

[0106]

수학식 14

$$D_n \nu | \nu = \begin{bmatrix} X_{u|u} & X_{v|v} & X_{w|w} & X_{p|p} & X_{q|q} & X_{r|r} \\ Y_{u|u} & Y_{v|v} & Y_{w|w} & Y_{p|p} & Y_{q|q} & Y_{r|r} \\ Z_{u|u} & Z_{v|v} & Z_{w|w} & Z_{p|p} & Z_{q|q} & Z_{r|r} \\ K_{u|u} & K_{v|v} & K_{w|w} & K_{p|p} & K_{q|q} & K_{r|r} \\ M_{u|u} & M_{v|v} & M_{w|w} & M_{p|p} & M_{q|q} & M_{r|r} \\ N_{u|u} & N_{v|v} & N_{w|w} & N_{p|p} & N_{q|q} & N_{r|r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u|u \\ v|v \\ w|w \\ p|p \\ q|q \\ r|r \end{bmatrix}$$

[0108]

[0110] 본 발명의 실시예에 따르면 공력의 선형성과 비선형성을 모두 고려할 수 있으므로, 야구공에 대한 공력을 정확히 산출할 수 있다.

[0111] 한편 공력 계수는 전산 유체 역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 해석을 통해 결정될 수 있으며, 본 발명의 실시예에 따른 공력 유체 모델의 공력 계수는 총 108개이다.

[0112] 다음으로 난류 모델 생성부(130)는 공력과 기 설정된 6자유도 운동 방정식을 이용하여 난류 모델을 생성한다(S240).

[0113] 아래의 수학식 15 내지 20은 연산부(120)에서 산출한 공력과 기 설정된 6자유도 운동 방정식을 이용하여 생성된 난류 모델을 나타낸다.

수학식 15

[0114] $m[\dot{u} - vr + wq - x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + z_G(pr + \dot{q})] = X_{hd}$

[0115] 여기서 m은 야구공의 질량을 나타내고, x_G 는 야구공의 무게 중심의 x축 좌표를 나타내고, y_G 는 야구공의 무게 중심의 y축 좌표를 나타내고, z_G 는 야구공의 무게 중심의 z축 좌표를 나타낸다.

수학식 16

[0116] $m[\dot{v} - wp + ur - y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr - \dot{p}) + x_G(qp + \dot{r})] = Y_{hd}$

수학식 17

[0118] $m[\dot{w} - uq + vp - z_G(p^2 + q^2) + x_G(rp - \dot{q}) + y_G(rq + \dot{p})] = Z_{hd}$

수학식 18

[0120] $[I_{xx}\dot{p} - I_{xy}\dot{q} - I_{xz}\dot{r} + (I_{zz} - I_{yy})qr + I_{xy}pr - I_{xz}pq + I_{yz}(r^2 - q^2) + m(y_G(\dot{w} - uq + vp) - z_G(\dot{v} - wp + ur))] = K_{hd}$

[0121] 여기서 I_{ij} 는 관성 모멘트를 나타낸다.

수학식 19

[0122] $[-I_{xy}\dot{p} + I_{yy}\dot{q} - I_{yz}\dot{r} + (I_{xx} - I_{zz})rp - I_{xy}qr + I_{xz}(p^2 - r^2) + I_{yz}qp + m(z_G(\dot{u} - vr + wq) - x_G(\dot{w} - uq + vp))] = M_{hd}$

수학식 20

[0124] $[-I_{xz}\dot{p} - I_{yz}\dot{q} + I_{zz}\dot{r} + (I_{yy} - I_{xx})pq + I_{xy}(q^2 - p^2) + I_{xz}rq - I_{yz}rp + m(x_G(\dot{v} - wp + ur) - y_G(\dot{u} - vr + wq))] = N_{hd}$

[0126] 그러면 제적 예측부(140)는 난류 모델을 이용하여 야구공의 궤적을 예측한다(S250).

[0127] 그러면 도 3 및 도 4를 통해 본 발명의 실시예에 따른 공력 계수의 산출 과정에 대해 살펴보도록 한다.

[0128] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 야구공의 3차원 격자 형상을 설명하기 위한 도면이고, 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 야구공 및 주변 공간의 3차원 격자 형상을 설명하기 위한 도면이다.

[0129] 본 발명의 실시예에 따르면 공력 계수는 선형 감쇠 계수, 비선형 감쇠 계수 및 부가 질량을 포함한다.

[0130] 우선 부가 질량은 야구공의 형상, 질량 및 공기 밀도에 따라 결정된다.

[0131] 그리고 선형 감쇠 계수 및 비선형 감쇠 계수는 야구공의 표면 및 재봉선과 야구공으로부터 일정 거리에 위치한

공간의 3차원 격자 형상을 이용하는 전산 유체 역학 해석을 통해 결정된다.

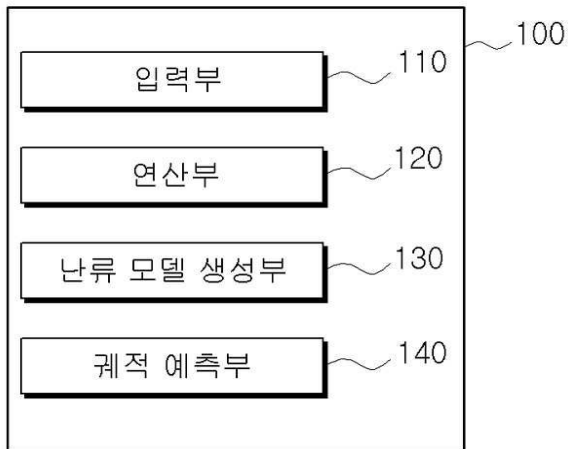
- [0132] 전산 유체 역학 해석은 해석 영역 및 경계 조건 설정, 물체의 3차원 격자 형상 생성 등의 프로세스를 포함한다.
- [0133] 우선 해석 영역 설정에서 본 발명의 실시예는 야구공의 중심으로부터 일정 거리까지의 영역(구 형태)을 해석 영역으로 설정한다.
- [0134] 그리고 경계 조건 설정에서 본 발명의 실시예는 설정된 해석 영역의 구 표면의 앞쪽 절반에 속도 입구(Velocity Inlet)의 경계 조건을 설정하고, 뒤쪽 절반에 압력 출구(Pressure Outlet)의 경계 조건을 설정한다.
- [0135] 다음으로 3차원 격자 형상에서 본 발명의 실시예는 도 3 및 4에 나타난 바와 같이 비정렬 격자, 비등방성 사면체 격자 및 등방성 사면체 격자를 이용하여 모델링한다.
- [0136] 우선 도 3에 나타난 바와 같이, 야구공의 표면 및 재봉선은 비정렬 격자를 이용하여 모델링된다.
- [0137] 야구공은 가죽 표면 부분과 가죽을 연결시키는 재봉선으로 구성되는데, 가죽 부분의 경우 표면이 매끈하므로 3차원 모델링이 용이하다. 하지만 재봉선의 경우 가죽 부분과 높낮이 차이나 간격, 재봉 형상 등으로 인해 복잡한 형태를 띤다. 따라서 본 발명의 실시예에 따른 야구공의 3차원 격자 형상은 비정렬 격자를 이용하여 모델링함으로써 야구공 표면을 정확히 구현할 수 있는 장점이 있다.
- [0138] 그리고 도 4에 나타난 바와 같이, 야구공의 표면 및 재봉선으로부터 제1 임계 거리 이내에 위치한 공간은 도 3에 나타난 바와 같이 비등방성 사면체 격자를 이용하여 모델링한다.
- [0139] 그리고 도 4에 나타난 바와 같이, 제1 임계 거리와 제1 임계 거리보다 긴 제2 임계 거리 사이에 위치한 공간은 등방성 사면체 격자를 이용하여 모델링된다.
- [0140] 야구공의 표면 및 재봉선으로부터 제1 임계 거리에 이내에 위치한 공간은 야구공의 복잡한 형상으로 인해 정밀한 모델링이 어려운 구간이다. 따라서 본 발명의 실시예는 비등방성 사면체 격자를 이용한 모델링을 통해 모델링의 정밀도를 향상시킨다.
- [0141] 그리고 제1 임계 거리와 제2 임계 거리 사이의 공간은 야구공의 복잡한 형상의 영향이 약한 공간이므로, 등방성 사면체 격자를 이용하여 모델링함으로써 연산량을 감소시킨다.
- [0142] 본 발명의 실시예에 따르면 선형 모델과 비선형 모델을 포함한 공력 유체 모델을 이용하므로 야구공의 공력을 정확히 산출할 수 있고, 이에 따라 야구공의 운동 궤적을 정확히 예측할 수 있다.
- [0143] 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 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

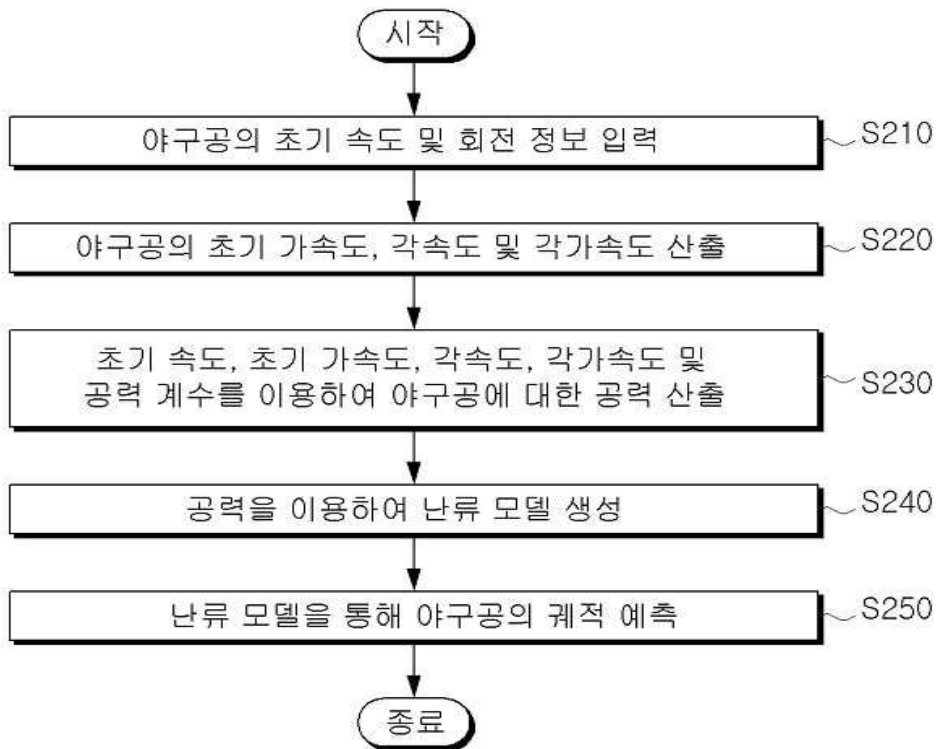
- [0144] 100 : 야구공 궤적 예측 장치 110 : 입력부
- 120 : 연산부 130 : 난류 모델 생성부
- 140 : 궤적 예측부

도면

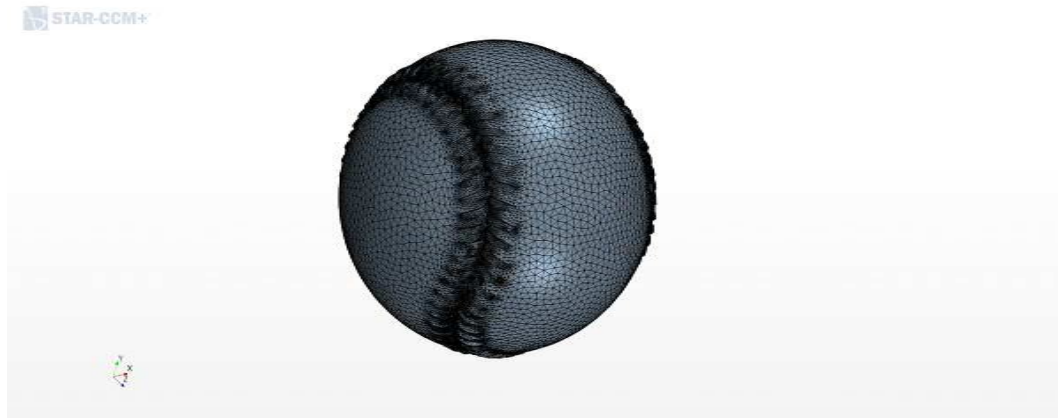
도면1



도면2



도면3



도면4

