(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0162235
(43) 공개일자 2024년11월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01F 1/663 (2022.01) *G01F 1/667* (2022.01)
G01P 5/24 (2006.01) *G06N 3/04* (2023.01)
G06N 3/08 (2023.01)
(52) CPC특허분류
G01F 1/663 (2022.01)
G01F 1/667 (2022.01)
(21) 출원번호 10-2023-0059012
(22) 출원일자 2023년05월08일
심사청구일자 2023년05월08일

(71) 출원인
경상국립대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
(72) 발명자
김형범
경상남도 진주시 진양호로239번길 13, 202동 503호 (평거동, 평거하우스토리아파트)
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 10 항

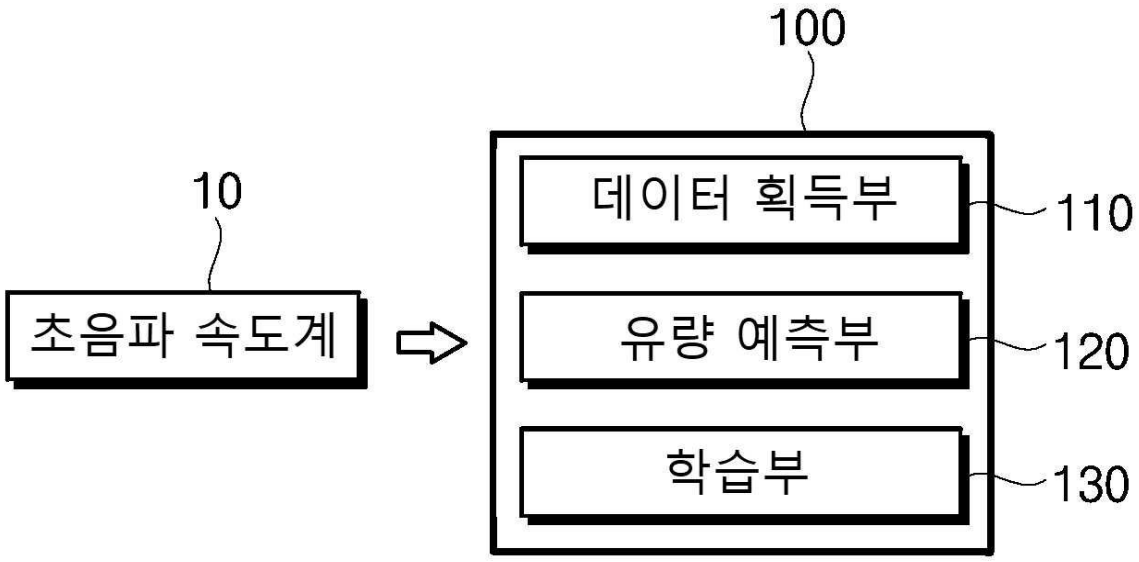
(54) 발명의 명칭 **초음파를 이용한 곡관부 유량 측정 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 초음파를 이용한 곡관부 유량 측정 장치 및 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 초음파를 이용한 곡관부 유량 측정 장치에 있어서, 곡관부 하류의 직관부 외측에 설정 각도로 설치되어 상기 곡관부 하단으로부터 설정 거리 상에 위치한 배관 단면의 중심점 유속을 측정하기 위한 초음파 속도계로부터 초음파 측정 라인 상의 N

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도3



개 지점의 속도 측정치를 획득하는 데이터 획득부; 및 상기 초음파 측정 라인에 해당한 1차원 상의 N개 지점의 속도 측정치를 배관 단면의 속도 분포를 예측하기 위한 딥러닝 기반의 예측 모델의 입력 값으로 적용하여, 상기 배관 단면의 2차원 평면 상에 방사 배열된 상기 중심점을 포함한 M개 지점(M>N) 상의 유속 예측치를 상기 배관 단면의 속도 분포 값으로 출력하는 유량 예측부를 포함하는 곡관부 유량 측정 장치를 제공한다.

본 발명에 따르면, 유동 평탄화 장치 없이도 곡관부 근처에서 초음파 속도계를 통한 유량 측정의 정확도를 향상시킬 수 있다.

(52) CPC특허분류
G01P 5/241 (2013.01)
G06N 3/04 (2023.01)
G06N 3/08 (2023.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711161103
과제번호 2021R1A2C1007142
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 형상-유도 슬러그 유동의 비침투식 정량화 연구
기 여 율 8/10
과제수행기관명 경상국립대학교
연구기간 2022.03.01 ~ 2023.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415178663
과제번호 20014404
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국산업기술평가관리원
연구사업명 기계장비산업기술개발
연구과제명 중대형 배터리 전극용 35 LPM급 연속식 슬러리 믹싱 시스템 및 in line 품질 측정 기술개발
기 여 율 2/10
과제수행기관명 (주)윤성에프앤씨
연구기간 2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

초음파를 이용한 곡관부 유량 측정 장치에 있어서,

곡관부 하류의 직관부 외측에 설정 각도로 설치되어 상기 곡관부의 하단으로부터 설정 거리 상에 위치한 배관 단면의 중심점 유속을 측정하기 위한 초음파 속도계로부터 초음파 측정 라인 상의 N개 지점의 속도 측정치를 획득하는 데이터 획득부; 및

상기 초음파 측정 라인에 해당한 1차원 상의 N개 지점의 속도 측정치를 배관 단면의 속도 분포를 예측하기 위한 딥러닝 기반의 예측 모델의 입력 값으로 적용하여, 상기 배관 단면의 2차원 평면 상에 방사 배열된 상기 중심점을 포함한 M개 지점(M>N) 상의 유속 예측치를 상기 배관 단면의 속도 분포 값으로 출력하는 유량 예측부를 포함하는 곡관부 유량 측정 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 곡관부 및 상기 초음파 속도계와 관련한 변수 파라미터를 기반으로 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 상기 초음파 측정 라인 상의 N개 지점에 대한 속도 값을 입력 벡터로 하고, 상기 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 상기 배관 단면의 2차원 평면 상의 M개 지점 상의 유속값을 출력 벡터로 하여 상기 예측 모델을 딥러닝을 기반으로 학습시키는 학습부를 더 포함하는 곡관부 유량 측정 장치.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 예측 모델은,

상기 전산 해석과 동일 파라미터 조건에서 실제 초음파 속도계를 이용하여 관측된 상기 초음파 측정 라인 상의 N개 지점에 대한 속도 값을 상기 예측 모델에 입력하여 도출된 출력 벡터가 상기 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 출력 벡터를 추종하도록 재학습되는 곡관부 유량 측정 장치.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 예측 모델은,

방사형 기저함수 신경망 네트워크(Radial basis function neural network, RBFNN) 모델로 구현된 곡관부 유량 측정 장치.

청구항 5

청구항 2에 있어서,

상기 데이터 획득부는,

상기 초음파 속도계를 통해 상기 초음파 측정 라인 상에서 실제 관측된 총 K개 지점의 속도 값을 보간하여 상기 K개 보다 많은 M개 지점의 속도 값을 획득하는 곡관부 유량 측정 장치.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 유량 예측부는,

상기 배관 단면 상의 M개 지점 상의 유속 예측치를 각 지점의 유속 크기에 대응한 색상으로 표현한 2차원 평면

상의 속도 분포 이미지를 가공하여 출력하는 곡관부 유량 측정 장치.

청구항 7

곡관부 유량 측정 장치에 의해 수행되는 곡관부 유량 측정 방법에 있어서,

곡관부 하류의 직관부 외측에 설정 각도로 설치되어 상기 곡관부의 하단으로부터 설정 거리 상에 위치한 배관 단면의 중심점 유속을 측정하기 위한 초음파 속도계로부터 초음파 측정 라인 상의 N개 지점의 속도 측정치를 획득하는 단계; 및

상기 초음파 측정 라인에 해당한 1차원 상의 N개 지점의 속도 측정치를 배관 단면의 속도 분포를 예측하기 위한 딥러닝 기반의 예측 모델의 입력 값으로 적용하여, 상기 배관 단면의 2차원 평면 상에 방사 배열된 상기 중심점을 포함한 M개 지점(M>N) 상의 유속 예측치를 상기 배관 단면의 속도 분포 값으로 출력하는 단계를 포함하는 곡관부 유량 측정 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 곡관부 및 상기 초음파 속도계와 관련한 변수 파라미터를 기반으로 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 상기 초음파 측정 라인 상의 N개 지점에 대한 속도 값을 입력 벡터로 하고, 상기 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 상기 배관 단면의 2차원 평면 상의 M개 지점 상의 유속값을 출력 벡터로 하여 상기 예측 모델을 딥러닝을 기반으로 학습시키는 단계를 더 포함하는 곡관부 유량 측정 방법.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 예측 모델은,

상기 전산 해석과 동일 파라미터 조건에서 실제 초음파 속도계를 이용하여 관측된 상기 초음파 측정 라인 상의 N개 지점에 대한 속도 값을 상기 예측 모델에 입력하여 도출된 출력 벡터가 상기 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 출력 벡터를 추종하도록 재학습되는 곡관부 유량 측정 방법.

청구항 10

청구항 8에 있어서,

상기 예측 모델은,

방사형 기저함수 신경망 네트워크(Radial basis function neural network, RBFNN) 모델로 구현된 곡관부 유량 측정 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 초음파를 이용한 곡관부 유량 측정 장치 및 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 유동 평탄화 장치가 없는 곡관부 근처에서 초음파 속도계를 통한 유량 측정의 정확도를 향상시킬 수 있는 초음파를 이용한 곡관부 유량 측정 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 도 1은 배관 시스템에 사용되는 다양한 곡관부 형태를 보여주는 도면이다. 도 1의 (a)는 단일 곡관(Single bent pipe, SBP), (b)는 U자형 곡관(U-shaped bent pipe, UBP), (c)는 이중 곡관(Double bent pipe, DBP)을 나타낸다. 대부분의 배관 시스템(Pipe system)은 도 1과 같은 다양한 형태의 곡관을 포함한다.

[0003] 도 2는 초음파 유량계를 이용한 유량 측정의 개념을 설명한 도면이다. 초음파 유량계는 유체의 흐름 방향과 반대 방향의 속도 차이를 이용하여 유체의 속도를 측정하는 장치이다.

[0004] 초음파 유량계인 초음파 도플러 속도계(Ultrasound Doppler velocimetry, UDV)는 도 2와 같이 곡관부 배관 하

류의 설정 지점에 설치될 수 있다. 도 2는 곡관부의 하류(downstream)에 해당한 직관 부분의 서로 다른 지점에 대해 4개의 도플러 속도계가 설치된 것을 예시한다.

[0005] 초음파 도플러 속도계는 각 지점에 한 쌍의 트랜스듀서로 설치될 수도 있지만 각 지점에 한 개의 트랜스듀서로 설치될 수도 있다. 도플러 속도계는 곡관부 하단으로부터 거리 L 만큼 떨어진 지점 상의 배관 단면의 중심 지점의 유속(U_y)을 측정할 수 있다. U_y는 y 방향의 유속을 나타낸다. 물론, 도플러 속도계는 원하는 한 개의 지점에 설치될 수도 있다.

[0006] 또한, 초음파 유량계는 도 2와 같이 파이프 축에 대해 경사각(예: Θ=65°)을 가지고 배관의 외벽에 설치되며, 측정 정확도와 초음파 신호 반사에 의한 영향을 종합적으로 고려하여 적절한 경사각이 선택될 수 있다.

[0007] 그런데, 곡관부를 통과하는 유체의 흐름은 발달이 미흡하거나 불안정하며 복잡한 편이다. 따라서 곡관부 하단(하류)에서 배관의 유량을 정확하게 측정하기 위해서는 도 2에서와 같이, 곡관부의 하단으로부터 충분한 거리를 두고 초음파 유량계가 설치되어야 한다. 하지만, 곡관부 하단에서의 복잡한 3차원 유동 발생으로 인하여 초음파 유량계의 측정 정확도에 한계가 따른다.

[0008] 예를 들어, 도 3에 나타낸 4개의 초음파 도플러 속도계 중에서 3개는 곡관부와 가까운 곳에 위치하고 나머지 1개는 매우 먼 거리에 위치한다. 이중에서 가장 먼 거리에 설치된 1개의 도플러 속도계의 경우 곡관부와 멀리 위치하여 유속 측정의 정확도가 매우 높은 편이나, 곡관부 하단과 인접하게 위치한 도플러 속도계의 경우에는 곡관부를 통과하는 유체의 복잡한 유동의 영향으로 측정 정확도가 떨어진다.

[0009] 초음파 센서의 전단에 유동 평탄화 장치를 설치하여 곡관에서 변경된 유속을 다시 평탄화하고 평탄화 장치를 거친 유속을 측정하는 방법이 있으나, 유동 평탄화 장치를 별도로 설치해야 하는 단점이 있다.

[0010] 따라서, 유동 평탄화 장치 없이도, 곡관부 하단에서의 복잡한 3차원 유동 발생으로 인한 유향 계측의 한계가 있는 초음파 유량계의 측정치를 보정해주고 측정 정확도를 향상시킬 수 있는 기법이 요구된다.

[0011] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국등록특허 제10-1324574호(2013.11.01 공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명은 곡관부 근처에서 초음파 속도계를 통해 측정된 속도 값을 기계 학습 기반의 예측 모델에 적용하여 곡관부 하단의 타겟이 되는 배관 단면 상의 유속 분포를 획득할 수 있는 초음파를 이용한 곡관부 유량 측정 장치 및 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명은, 초음파를 이용한 곡관부 유량 측정 장치에 있어서, 곡관부 하류의 직관부 외측에 설정 각도로 설치되어 상기 곡관부의 하단으로부터 설정 거리 상에 위치한 배관 단면의 중심점 유속을 측정하기 위한 초음파 속도계로부터 초음파 측정 라인 상의 N개 지점의 속도 측정치를 획득하는 데이터 획득부; 및 상기 초음파 측정 라인에 해당한 1차원 상의 N개 지점의 속도 측정치를 배관 단면의 속도 분포를 예측하기 위한 딥러닝 기반의 예측 모델의 입력 값으로 적용하여, 상기 배관 단면의 2차원 평면 상에 방사 배열된 상기 중심점을 포함한 M개 지점(M>N) 상의 유속 예측치를 상기 배관 단면의 속도 분포 값으로 출력하는 유량 예측부를 포함하는 곡관부 유량 측정 장치를 제공한다.

[0014] 또한, 상기 곡관부 유량 측정 장치는, 상기 곡관부 및 상기 초음파 속도계와 관련한 변수 파라미터를 기반으로 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 상기 초음파 측정 라인 상의 N개 지점에 대한 속도 값을 입력 벡터로 하고, 상기 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 상기 배관 단면의 2차원 평면 상의 M개 지점 상의 유속값을 출력 벡터로 하여 상기 예측 모델을 딥러닝을 기반으로 학습시키는 학습부를 더 포함할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 예측 모델은, 상기 전산 해석과 동일 파라미터 조건에서 실제 초음파 속도계를 이용하여 관측된 상기 초음파 측정 라인 상의 N개 지점에 대한 속도 값을 상기 예측 모델에 입력하여 도출된 출력 벡터가 상기 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 출력 벡터를 추종하도록 재학습될 수 있다.

[0016] 또한, 상기 예측 모델은, 방사형 기저함수 신경망 네트워크(Radial basis function neural network, RBFNN) 모델로 구현될 수 있다.

[0017] 또한, 상기 데이터 획득부는, 상기 초음파 속도계를 통해 상기 초음파 측정 라인 상에서 실제 관측된 총 K개 지점의 속도 값을 보간하여 상기 K개 보다 많은 M개 지점의 속도 값을 획득할 수 있다.

[0018] 또한, 상기 유량 예측부는, 상기 배관 단면 상의 M개 지점 상의 유속 예측치를 각 지점의 유속 크기에 대응한 색상으로 표현한 2차원 평면 상의 속도 분포 이미지를 가공하여 출력할 수 있다.

[0019] 그리고, 본 발명은, 곡관부 유량 측정 장치에 의해 수행되는 곡관부 유량 측정 방법에 있어서, 곡관부 하류의 직관부 외측에 설정 각도로 설치되어 상기 곡관부의 하단으로부터 설정 거리 상에 위치한 배관 단면의 중심점 유속을 측정하기 위한 초음파 속도계로부터 초음파 측정 라인 상의 N개 지점의 속도 측정치를 획득하는 단계; 및 상기 초음파 측정 라인에 해당한 1차원 상의 N개 지점의 속도 측정치를 배관 단면의 속도 분포를 예측하기 위한 딥러닝 기반의 예측 모델의 입력 값으로 적용하여, 상기 배관 단면의 2차원 평면 상에 방사 배열된 상기 중심점을 포함한 M개 지점(M>N) 상의 유속 예측치를 상기 배관 단면의 속도 분포 값으로 출력하는 단계를 포함한다.

[0020] 또한, 상기 곡관부 유량 측정 방법은, 상기 곡관부 및 상기 초음파 속도계와 관련한 변수 파라미터를 기반으로 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 상기 초음파 측정 라인 상의 N개 지점에 대한 속도 값을 입력 벡터로 하고, 상기 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 상기 배관 단면의 2차원 평면 상의 M개 지점 상의 유속값을 출력 벡터로 하여 상기 예측 모델을 딥러닝을 기반으로 학습시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따르면, 유동 평탄화 장치 없이도 곡관부 근처에서 초음파 속도계를 통한 유량 측정의 정확도를 향상시킬 수 있다.

[0022] 또한, 본 발명은 곡관부 근처에서 초음파 속도계를 통해 측정된 속도 값을 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 사전 학습된 예측 모델에 입력하는 것만으로도 곡관부 하단의 타겟이 되는 배관 단면 상의 유속 분포를 빠르게 예측하여 제공할 수 있다.

[0023] 아울러, 본 발명은, 초음파 속도계로부터 측정된 초음파 측정 라인 상의 1차원 속도 값을 기 학습된 예측 모델에 적용하여 곡관부 하단의 타겟이 되는 배관 단면의 2차원 평면 상의 다중 지점의 유속 값을 배관 단면에 대한 유속 분포 데이터로 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 배관 시스템에 사용되는 다양한 곡관부 형태를 보여주는 도면이다.

도 2는 초음파 유량계를 이용한 유량 측정의 개념을 설명한 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 곡관부 유량 측정 장치의 구성을 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 RBFNN 기반의 예측 모델의 구조를 예시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 예측 모델의 구현 방법을 간략히 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0026] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0027] 본 발명은 초음파를 이용한 곡관부 유량 측정 장치 및 방법에 관한 것으로, 전산 해석과 초음파 속도계의 1D 측정 결과를 이용한 기계학습 모델을 이용하여 곡관부 근처에서 초음파 속도계 데이터 만으로도 정확한 유량을

측정할 수 있는 기법을 제안한다.

[0028] 이러한 본 발명은 곡관부 하단에서의 복잡한 3차원 유동 발생으로 유량 계측의 한계가 있는 초음파 유량계의 측정 정확도를 기계 학습 기반의 예측 모델을 이용하여 향상시킬 수 있다.

[0029] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 곡관부 유량 측정 장치의 구성을 나타낸 도면이다.

[0030] 도 3에 나타낸 것과 같이, 본 발명의 실시예에 따른 곡관부 유량 측정 장치(100)는 데이터 획득부(110), 유량 예측부(120)를 포함하며, 학습부(130)를 더 포함할 수 있다. 또한, 각 부의 동작과 각 부 간의 데이터 흐름은 제어부(미도시)에 의해 제어될 수 있다.

[0031] 곡관부 유량 측정 장치(100)는 도 3과 같이 초음파 속도계(10)와 연결되어 동작할 수 있지만 초음파 속도계(10)를 포함하여 구현될 수도 있다. 이러한 곡관부 유량 측정 장치(100)는 배관 시스템 내의 곡관부 하단(하류)에서 배관의 유량을 정확하게 측정하기 위하여 사용된다.

[0032] 일반적으로 배관 시스템(Pipe system)은 직관부와 곡관부를 포함하며, 곡관부 형태는 앞서 상술한 도 1과 같이 단일 곡관(SBP), U자형 곡관(UBP), 이중 곡관(DBP) 등으로 다양할 수 있다.

[0033] 초음파 속도계(10)는 초음파 변환기(transducer)를 포함하여 이루어질 수 있다. 본 발명의 실시예에서 초음파 속도계(10)는 통상적으로 배관 시스템의 유량 측정에 활용되는 초음파 도플러 속도계(Ultrasound Doppler velocimetry, UDV)를 예시한다.

[0034] 일반적으로 초음파 속도계는 도 2와 같이 곡관부 하단으로부터 설정 거리(L) 상에 위치한 배관 단면의 중심점 유속(Uy)을 측정하기 위해서 사용되며, 이를 위해 곡관부 하류의 직관부 외측에 설정 각도로 설치되어 초음파 측정 라인(measuring line)(도 2의 점선) 상의 각 지점 별 유속을 측정한다.

[0035] 초음파 속도계(10)는 곡관부 하단에 대해 각 지점 별로 설치될 수도 있고, 어느 한 지점에 설치될 수도 있다. 앞서 나타낸 도 2의 경우 곡관부 하단으로부터 각각 3D(150mm), 4D(200mm), 5D(250mm), 10D(500mm) 만큼 떨어진 지점(L=3D, 4D, 5D, 10D)에서의 배관 단면의 중심 지점의 유속 Uy을 측정하는 개념을 보여주고 있다. 여기서, D는 배관의 직경(예: 50mm)을 의미한다.

[0036] 이때, 10D 지점의 경우 가장 먼 거리에 위치하고 있으며 유동 흐름이 안정적인 구간에 해당하므로 초음파 속도계(10)의 측정 값의 정확도가 높은 편이지만, 곡관부 근처의 지점에서는 곡관을 통과한 유체의 복잡한 유동으로 인해 초음파 속도계(10)의 측정 값에 대한 정확도가 떨어지는 편이다.

[0037] 상술한 바와 같이, 초음파 속도계(10)는 타겟이 되는 배관 단면의 중심 지점을 향해 비스듬한 각도로 직관부 외측에 배치될 수 있다.

[0038] 이러한 상태에서 초음파 속도계(10)는 초음파 측정 라인(measuring line)(도 2의 점선) 상의 복수 지점(N개 지점)에서의 유속을 시간에 따라 측정할 수 있다. 초음파 측정 라인 상의 각 지점은 변환기로부터 거리가 상이하므로 이를 통해 변환기로부터의 거리 및 시간 별 속도를 알 수 있다. 이러한 방법으로, 초음파 속도계(10)는 초음파 측정 라인 상의 각 지점 별로 속도 값을 얻을 수 있다.

[0039] 이때, 초음파 속도계(10)를 통해 획득한 각 지점 별 속도 측정치는 초음파 신호를 통한 1차원 측정 라인 상에서 획득된 값이므로 1차원 속도 데이터에 해당한다.

[0040] 또한, 초음파 속도계(10)에 의한 1차원 속도 데이터, 설치 각도 등을 기 설정된 함수식에 적용하면, 곡관부 단면으로부터 거리 L 지점 상의 배관 단면 상의 유속(U_y)이 계산될 수 있다.

[0041] 다만, 곡관부를 통과한 유체의 불안정하고 복잡한 유동에 따라 이와 같은 방식으로 환산된 유속 값은 정확도가 떨어진다. 아울러, 단순히 이와 같은 방법으로 도출된 유속 값은 단면 상의 하나의 유속 값에 해당하고 이를 통해서는 배관 단면에 해당한 평면 상의 2차원 유속 분포를 알기는 어렵다.

[0042] 본 발명의 실시예에서는 각 사례(속도계의 설치 위치, 곡관부의 규격, 형태 등) 별로 초음파 속도계(10)를 통한 1차원 속도 데이터와 실제 배관 단면에 대한 2차원 평면 상의 속도 분포 간의 관계를 사전에 기계 학습하여 모델을 구축하고, 실제 현장에서 곡관부와 인접한 곳에 설치된 초음파 속도계(10)의 1차원 속도 데이터를 기 학습된 모델에 입력하는 것만으로 곡관부로부터 인접한 해당 지점에 대한 배관 단면 상의 2차원 속도 분포를 빠르고 용이하게 획득할 수 있다.

[0043] 본 발명의 실시예에서 초음파 속도계(10)는 해당 지점에 도 2와 같이 한 쌍이 마주보게 설치될 수도 있지만, 해

당 지점 상에 한 개만 설치되어도 무관하다. 유체 흐름 방향에 대해 서로 대칭되는 위치에 배치된 한 쌍의 변환기는 측정되는 속도 값이 거의 유사하기 때문에, 초음파 속도계(10)는 대상 지점 상에 하나만 설치되어도 된다. 이하의 본 발명의 실시예는 하나의 초음파 속도계(10)를 이용한 것을 예시한다.

[0044] 이하에서는 상술한 점을 토대로 곡관부 유량 측정 장치(100)의 구성을 구체적으로 설명한다.

[0045] 데이터 획득부(110)는 곡관부 하류의 직관부 외측에 설정 각도로 설치된 초음파 속도계(10)로부터 초음파 측정 라인 상의 N개 지점의 속도 측정치를 획득한다. 이러한 N개 지점의 속도 측정치는 앞서 상술한 바와 같이 측정 라인 상의 각 지점 별 속도 값에 해당하므로 1차원 속도 데이터로 볼 수 있다.

[0046] 여기서 실제 초음파 측정 라인 상의 KRO속도 측정치는 K개 이고 이를 보간하여 많은 N개 일 수 있다.

[0047] 여기서, 데이터 획득부(110)는 초음파 속도계를 통해 초음파 측정 라인 상에서 실제 관측된 총 K개 지점(K<N)의 속도 값을 보간하여 K개 지점보다 많은 M개 지점의 속도 값을 획득할 수 있다. 이는 실제 예측 모델에서 사용하는 입력 벡터의 원소 수와 동일하게 맞춰주기 위한 것이다. 이러한 동작은 기 알려진 데이터 보간 기법을 통해서 수행될 수 있다.

[0048] 앞서 상술한 바와 같이 초음파 속도계는 곡관부 하단으로부터 설정 거리(L) 상에 위치한 배관 단면의 중심점 유속을 측정하기 위해 사용된다. 본 발명의 실시예는 중심점 유속을 직접적으로 측정하는 대신, 초음파 속도계(10)로부터 얻은 초음파 측정 라인 상의 복수의 지점 별 속도값(1차원 속도 데이터)를 기 학습된 예측 모델에 적용하는 것을 통해 곡관부 하단에서 설정 거리(L) 상에 위치한 배관 단면의 2차원 속도 분포 데이터를 획득할 수 있다.

[0049] 즉, 본 발명의 실시예에 따르면, 1차원의 속도 값을 이용하여 평면 상의 2차원 속도 값을 예측하여 제공할 수 있다.

[0050] 구체적으로, 유량 예측부(120)는 초음파 측정 라인에 해당한 1차원 상의 N개 지점의 속도 측정치를 배관 단면의 속도 분포를 예측하기 위한 딥러닝 기반의 예측 모델의 입력 값으로 적용하여, 배관 단면의 2차원 평면 상에 방사 배열된 M개 지점(M>N) 상의 유속 예측치를 배관 단면의 속도 분포 값으로 출력한다.

[0051] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 RBFNN 기반의 예측 모델의 구조를 예시한 도면이다. 예측 모델은 도 4에 나타낸 것과 같이 방사형 기저함수 신경망 네트워크(Radial basis function neural network, RBFNN) 모델로 구현될 수 있다.

[0052] 도 4의 경우 N=51, M=1641인 경우로, 예측 모델은 초음파 측정 라인(1차원) 상의 51개 지점(point)의 속도 값(x1~x51)을 입력 벡터로 하고 이를 딥러닝 분석하여 총 1641개 지점(1641 points)의 속도 값(y1~y1641)을 출력 벡터로 제공한다.

[0053] 배관 단면의 2차원 평면 상의 유속 값들은 해당 단면의 유속 분포를 의미한다. 도 4의 오른쪽 그림은 배관 단면의 2차원 평면 상에 방사형으로 배열된 각 포인트 별 속도 값을 색상으로 표현한 것이다. 이때 방사형 점들의 중심점은 단면의 중심점에 해당한다.

[0054] 유량 예측부(120)는 배관 단면에 대한 각 지점별 유속 예측치를 텍스트, 테이블 등의 형태로 제공할 수도 있지만, 도 4의 오른쪽 그림과 같이 배관 단면 상의 M개 지점 상의 유속 예측치를 각 지점별 유속 크기에 대응한 색상으로 표현한 2차원 평면 상의 속도 분포 이미지를 가공하여 출력할 수도 있다.

[0055] 유량 예측부(120)는 예상된 유량 측정 결과를 디스플레이 혹은 사용자 단말기 등을 통해 제공할 수 있다.

[0056] 본 발명의 실시예에서 예측 모델은 유체 역학 전산 해석 프로그램에서 획득한 데이터를 이용하여 사전에 학습부(130)에 의해 학습될 수 있다.

[0057] 유체 역학 전산 해석 프로그램은 Computational Fluid Dynamics(CFD) 시뮬레이션 도구에 해당할 수 있다. 물론, 본 발명의 실시예는 그밖에 다양한 유체 역학 시뮬레이션 도구가 활용될 수 있다.

[0058] 학습부(130)는 곡관부 및 초음파 속도계와 관련한 구조적 변수 파라미터를 기반으로 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 초음파 측정 라인 상의 N개 지점에 대한 속도 값을 입력 벡터로 하고, 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 배관 단면의 2차원 평면 상의 M개 지점 상의 유속값을 출력 벡터로 하여 예측 모델을 딥러닝을 기반으로 학습시킬 수 있다.

[0059] 이와 같이, 학습부(130)는 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 해석된 결과 데이터들을 입출력 데이터로 활용

하여 예측 모델을 학습시킬 수 있다.

[0060] 여기서, 곡관부의 종류(SBP, DBP, UBP), 곡관부 규격(예: 직경 D, 곡률 반경 R_C), 초음파 설치 위치(예: 곡관부 단부로부터 거리 L), 배관에 입력된 유량(lpm), 레이놀즈 수(Reynolds numbers, Re) 등이 각기 다른 다양한 조건(파라미터 조건) 별로 해석된 시뮬레이션 결과가 예측 모델의 학습을 위한 학습 데이터 셋으로 활용될 수 있고 다양한 사례 별 데이터 셋을 이용하여 학습을 진행함으로써 예측 모델의 정확도와 신뢰성을 높일 수 있다.

[0061] 표 1은 학습에 사용된 다양한 파라미터 조건을 예시한 것이다.

표 1

[0062]

RBFNNs	R_c	H	Re	L	Dataset size
SBP-RBF	0.7D, 1.6D, 2D, 3D	\	25000, 40000, 50000, 100000	0-10D	1600
DBP-RBF	1.6D	2D, 4D, 6D, 8D, 10D	25000, 40000, 50000, 100000	0-10D	2000
UBP-RBF	1.6D	2D, 4D, 6D, 8D, 10D	25000, 40000, 50000, 100000	0-10D	2000

[0063] 여기서 해석 프로그램(CFD)에서 시뮬레이션에 의해 도출된 측정 라인 상의 1차원 속도 값과 실제 초음파 속도계(UDV)에 의해 도출된 1차원 속도 값 간에는 오차가 있기 때문에, 학습부(130)에서는 모델 수정 과정이 수행될 수 있다.

[0064] 아래 표 2는 이러한 두 가지 단계의 학습 과정을 요약 예시한 것이다.

표 2

[0065]

Step	Input data	Output data
Training/Validation	CFD 51 values	CFD 1641 values
Modification	UDV 51 values	Corresponding CFD 1641 values

[0066] 즉, 예측 모델은 전산 해석과 동일 파라미터 조건에서 실제 초음파 속도계를 이용하여 관측된 초음파 측정 라인 상의 N개 지점에 대한 속도 값(UDV 51 values)을 예측 모델에 입력하여 도출되는 출력 벡터가, 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 도출된 출력 벡터(CFD 1641 values)를 추종하도록 재학습될 수 있다. 즉, 실제 초음파 속도계를 통해 얻은 입력 데이터를 예측 모델에 입력할 경우에 도출된 출력 값과 해석 프로그램에 의한 출력 값 간의 오차가 임계 값 이하가 되도록 예측 모델을 재학습시킬 수 있다.

[0067] 이와 같이, 초기에는 CFD에 의해 얻은 입력과 출력을 이용하여 예측 모델을 학습하고, 이후에는 모델 정확도 향상을 위해서 UDV에 의해 얻은 입력 값과 CFD에 의해 얻은 출력 값을 이용하여 예측 모델을 보정할 수 있다.

[0068] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 예측 모델의 구현 방법을 간략히 나타낸 도면이다. 먼저, CFD 시뮬레이션을 통해 얻은 데이터를 전처리 가공 후 FBFNN 네트워크에 대한 입력 및 출력 데이터로 사용하여 예측 모델을 1차적으로 학습시킨다. 그리고, UDV 측정을 통해 얻은 속도 데이터를 전처리 가공 후 예측 모델에 입력한 결과를 CFD에 의한 결과와 비교하여 학습 모델을 수정하고 보강한다. 이후부터는 현장에서 측정된 임의 UDV 데이터를 실시간으로 입력받고 이를 예측 모델에 적용하여 해당 지점에 대한 배관 단면의 속도 분포를 재구성한다.

[0069] 이러한 본 발명에 의하면, 전산 해석과 초음파 속도계의 1D 측정 결과를 이용한 기계학습 모델을 이용하여 배관 단면의 2차원 속도장을 정확히 재구성함으로써 정확하게 유량을 측정할 수 있다.

[0070] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 예측 성능을 보여주는 도면이다. 도 6은 곡관부의 종류(SBP,UBP,SBP), 곡관부 단부로부터 측정 타겟이 되는 배관 단면 지점까지의 거리(3D,10D)에 따른 실험 결과를 나타낸다. 각 그래프는 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의한 측정 속도와 세로축은 본 발명의 실시예에 따른 기법으로 예측된 속도 간의 상관 관계를 보여준다. 이러한 도 6의 결과로부터 해석 프로그램에 의한 해석값(정답)과 예측 모델에 의한 예측치 간에 높은 상관 관계가 있으며, 본 발명의 기법에 의한 예측 값이 해석치와 가까우므로 예측 성능이 높은 것을 알 수 있다.

[0071] 도 7은 본 발명의 실시에에 따른 곡관부 유량 예측 방법을 설명하는 도면이다. 먼저, 유량 측정 장치(100)는 초음파 유량계(10)를 이용하여 초음파 측정 라인 상의 N개 지점의 속도 측정치를 획득한다(S710).

[0072] 그리고, 유량 측정 장치(100)는 획득된 초음파 측정 라인 상의 N개 지점의 속도 데이터를 기 학습된 예측 모델에 입력하여 배관 단면의 2차원 평면 상의 M개 지점(M>N) 상의 유속 예측치를 상기 배관 단면의 속도 분포 값으로 출력한다(S720).

[0073] 즉, 초음파 유량계(10)를 이용한 1차원의 속도 데이터를 기 학습된 예측 모델에 적용함으로써 배관 단면에 해당한 2차원 평면 상의 전체적인 속도 분포 데이터를 획득할 수 있다. 여기서, S710 단계 이전에 예측 모델을 학습하여 사전 구축하는 단계를 추가로 포함할 수 있다.

[0074] 이상과 같은 본 발명에 따르면, 유동 평탄화 장치 없이도 곡관부 근처에서 초음파 속도계를 통한 유량 측정의 정확도를 향상시킬 수 있다.

[0075] 또한, 본 발명은 곡관부 근처에서 초음파 속도계를 통해 측정된 속도 값을 유체 역학 전산 해석 프로그램에 의해 사전 학습된 예측 모델에 입력하는 것만으로도 곡관부 하단의 타겟이 되는 배관 단면 상의 유속 분포를 빠르게 예측하여 제공할 수 있다.

[0076] 아울러, 본 발명은, 초음파 속도계로부터 측정된 초음파 측정 라인 상의 1차원 속도 값을 기 학습된 예측 모델에 적용하여 곡관부 하단의 타겟이 되는 배관 단면의 2차원 평면 상의 다중 지점의 유속 값을 배관 단면에 대한 유속 분포 데이터로 제공할 수 있다.

[0077] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

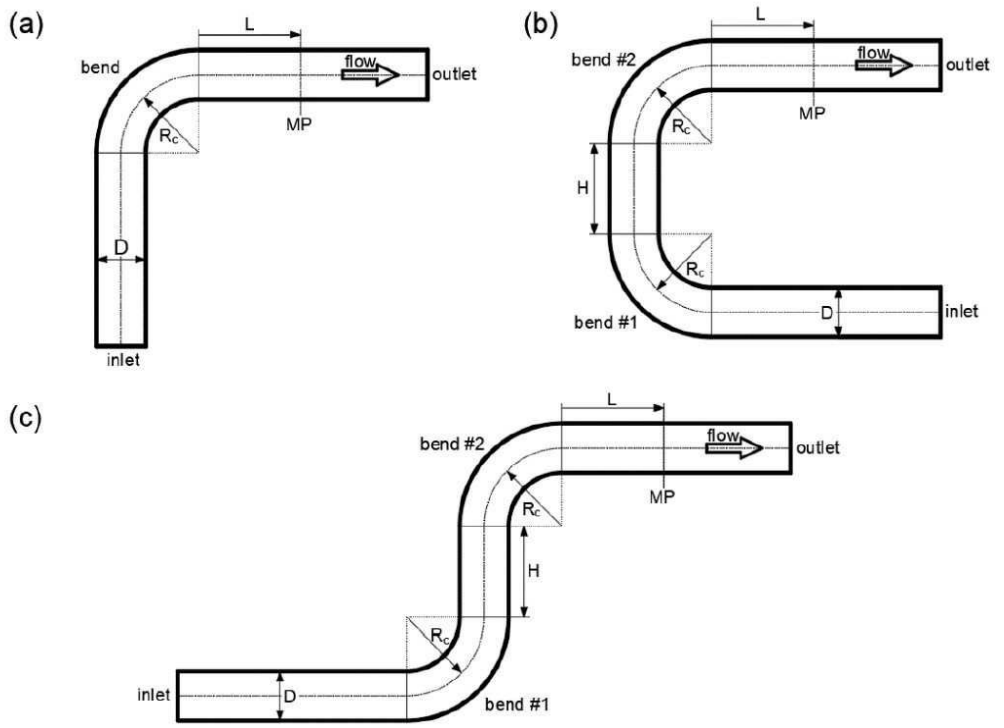
부호의 설명

[0078] 100: 곡관부 유량 측정 장치 110: 데이터 획득부

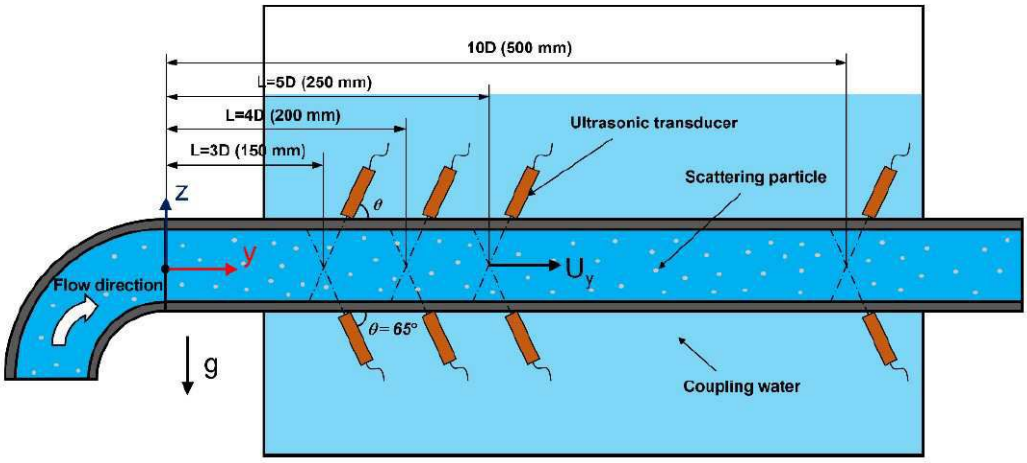
120: 유량 예측부 130: 학습부

도면

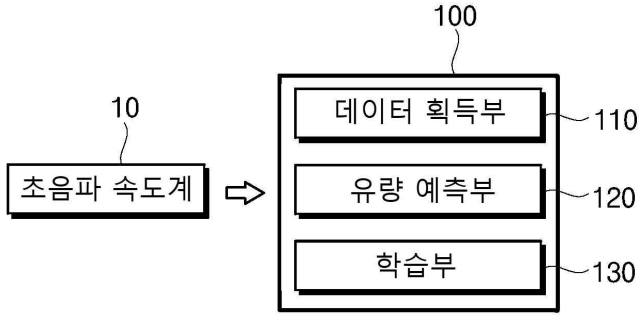
도면1


(a)
L
bend
flow
outlet
MP
R_c
D
inlet
(b)
L
bend #2
flow
outlet
MP
R_c
H
R_c
bend #1
D
inlet
(c)
L
bend #2
flow
outlet
MP
R_c
H
R_c
inlet
D
bend #1

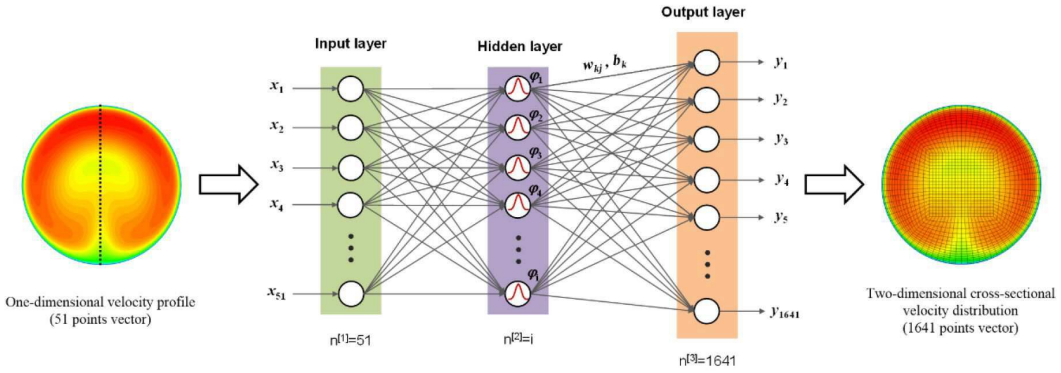
도면2


10D (500 mm)
L=5D (250 mm)
L=4D (200 mm)
L=3D (150 mm)
Ultrasonic transducer
Scattering particle
Z
θ
y
U_y
Flow direction
θ= 65°
g
Coupling water

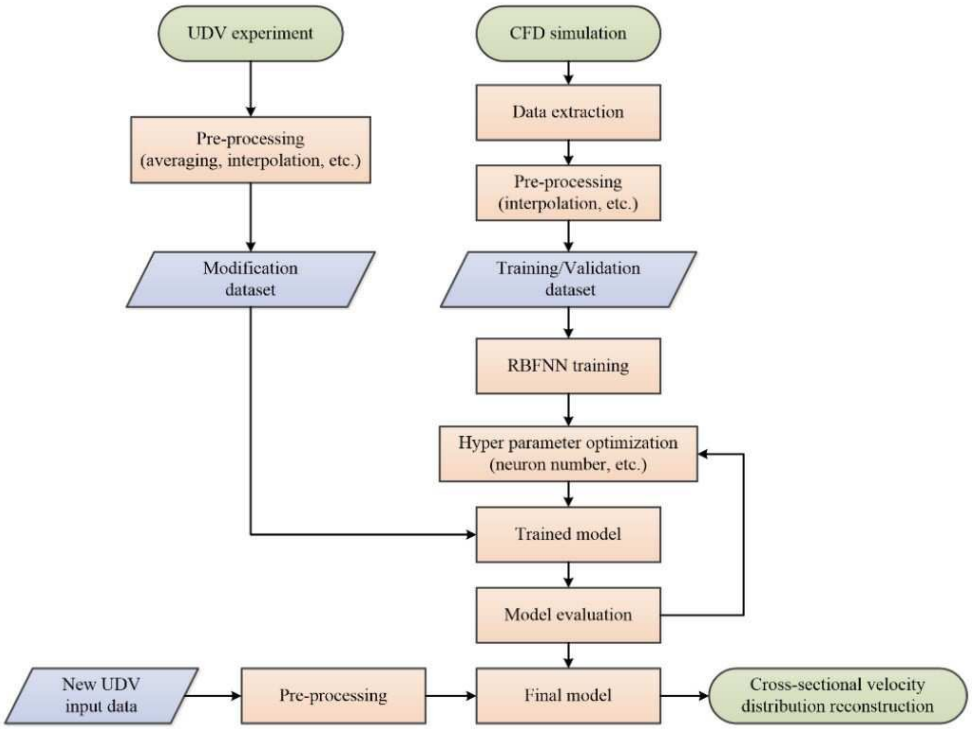
도면3


100
10
초음파 속도계
데이터 획득부
110
유량 예측부
120
학습부
130

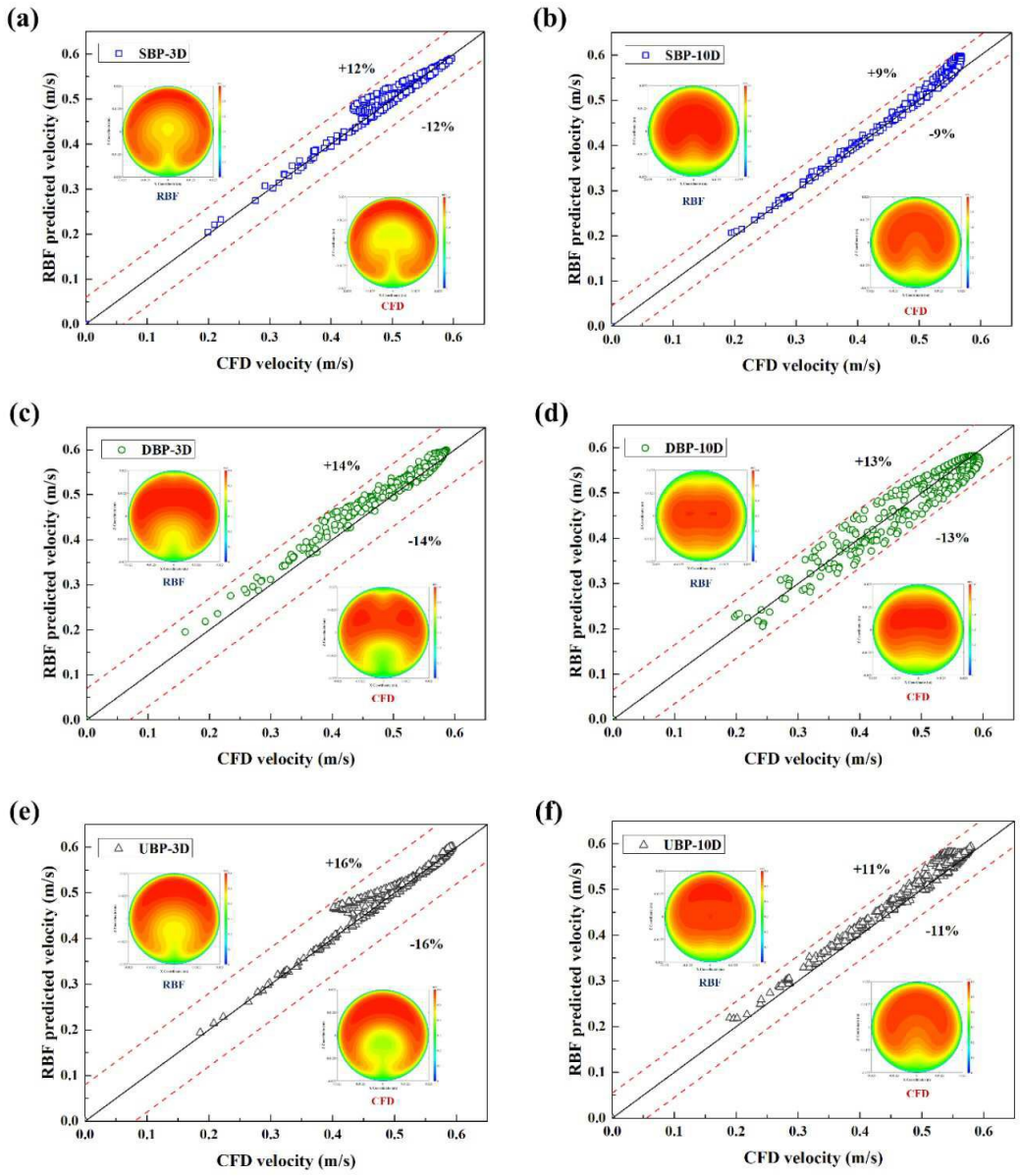
도면4


Input layer
Hidden layer
Output layer
One-dimensional velocity profile
(51 points vector)
Two-dimensional cross-sectional
velocity distribution
(1641 points vector)
n[1]=51
n[2]=i
n[3]=1641

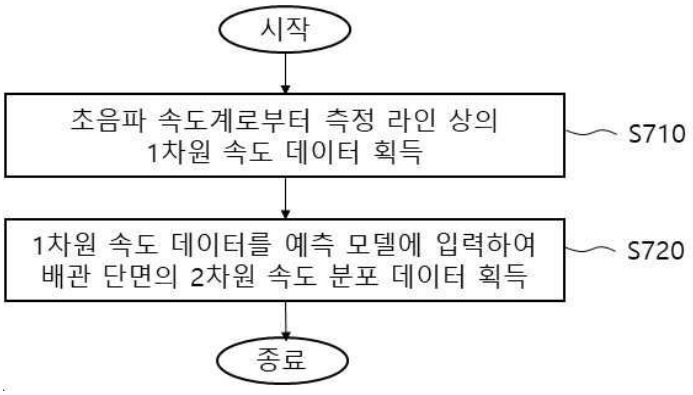
도면5


UDV experiment
CFD simulation
Data extraction
Pre-processing
(averaging, interpolation, etc.)
Pre-processing
(interpolation, etc.)
Modification
dataset
Training/Validation
dataset
RBFNN training
Hyper parameter optimization
(neuron number, etc.)
Trained model
Model evaluation
New UDV
input data
Pre-processing
Final model
Cross-sectional velocity
distribution reconstruction

도면6


(a)
SBP-3D
+12%
-12%
RBF
CFD
RBF predicted velocity (m/s)
CFD velocity (m/s)
(b)
SBP-10D
+9%
-9%
(c)
DBP-3D
+14%
-14%
(d)
DBP-10D
+13%
-13%
(e)
UBP-3D
+16%
-16%
(f)
UBP-10D
+11%
-11%

도면7


시작
초음파 속도계로부터 측정 라인 상의
1차원 속도 데이터 획득
S710
1차원 속도 데이터를 예측 모델에 입력하여
배관 단면의 2차원 속도 분포 데이터 획득
S720
종료