



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0157545
(43) 공개일자 2021년12월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 29/44 (2006.01) G01F 1/66 (2006.01)
G01N 29/22 (2006.01) G06N 20/00 (2019.01)
(52) CPC특허분류
G01N 29/4481 (2013.01)
G01F 1/667 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0075462
(22) 출원일자 2020년06월22일
심사청구일자 2020년06월22일

(71) 출원인
경상국립대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
(72) 발명자
김형범
경상남도 진주시 진양호로239번길 13, 202동 503호(평거동, 평거하우스토리아파트)
장용차오
경상남도 진주시 진주대로 501, 경상대학교 403동 208호(가좌동)
아미라나빌라빈티아즈만
경상남도 진주시 진주대로 501, 경상대학교 403동 208호(가좌동)
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 10 항

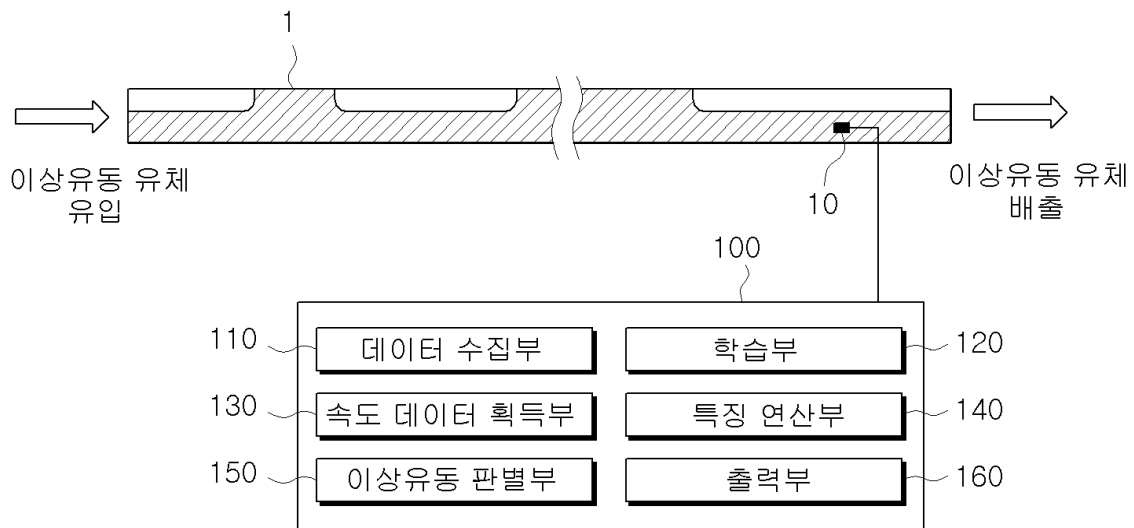
(54) 발명의 명칭 지도학습을 이용한 이상유동의 형태 판별 장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 지도학습을 이용한 이상유동의 형태 판별 장치 및 그 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 기체와 액체가 혼합된 유체가 수평관을 이동하는 동안, 센서를 통해 상기 수평관 내부의 타겟 지점 상에서의 액체의 시간별 속도값을 획득하는 속도 데이터 획득부와, 상기 수평관에 공급되는 기체와 액체의 현재 겉보기 속도와 상기

(뒷면에 계속)

대표도 - 도5



획득된 타겟 지점 상의 액체의 시계열 속도값을 이용하여 상기 타겟 지점을 지나는 액체에 대한 복수의 속도 특징을 가공하는 특징 연산부, 및 상기 가공된 복수의 속도 특징을 기 학습된 머신 러닝 알고리즘에 입력하여 상기 타겟 지점에 대한 이상유동의 형태를 층상 유동, 플러그 유동, 슬러그 유동 및 쇄퇴 슬러그 유동 중 어느 하나로 분류하는 이상유동 판별부를 포함하는 이상유동의 형태 판별 장치를 제공한다.

본 발명에 따르면, 수평관 내부의 타겟 지점에서 계측된 액체의 시계열 속도값을 통해 가공한 속도 특징들을 머신 러닝 알고리즘에 적용함으로써, 타겟 지점에서의 이상유동의 형태를 정확하게 분류하고 예측할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G01N 29/222 (2013.01)

G01N 29/4454 (2013.01)

G06N 20/00 (2021.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2018R1A2B6003623
과제번호	2018R1A2B6003623
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	(3차년도) 수평관내 슬러그 유동의 천이 구조 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경상대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

수평관 내 유체의 이상유동의 형태를 판별하는 장치에 있어서,

기체와 액체가 혼합된 유체가 수평관을 이동하는 동안, 센서를 통해 상기 수평관 내부의 타겟 지점 상에서의 액체의 시간별 속도값을 획득하는 속도 데이터 획득부;

상기 수평관에 공급되는 기체와 액체의 현재 겹보기 속도와 상기 획득된 타겟 지점 상의 액체의 시계열 속도값을 이용하여 상기 타겟 지점을 지나는 액체에 대한 복수의 속도 특징을 가공하는 특징 연산부; 및

상기 가공된 복수의 속도 특징을 기 학습된 머신 러닝 알고리즘에 입력하여 상기 타겟 지점에 대한 이상유동의 형태를 층상 유동, 플러그 유동, 슬러그 유동 및 쇄퇴 슬러그 유동 중 어느 하나로 분류하는 이상유동 판별부를 포함하는 이상유동의 형태 판별 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

서로 다른 조합의 기체와 액체의 겹보기 속도 조건마다, 해당 조건에서 상기 타겟 지점 상에서 센서를 통해 측정된 액체의 시계열 속도값 및 타겟 지점에서 실제 관측된 이상유동의 형태에 관한 데이터를 각각 수집하는 데이터 수집부; 및

해당 조건에서의 기체와 액체의 겹보기 속도와 상기 측정된 액체의 시계열 속도값을 이용하여 산출된 복수의 속도 특징과, 해당 조건에서 타겟 지점에서 실제 관측된 이상유동의 형태를 학습 데이터로 사용하여, 상기 머신 러닝 알고리즘을 사전 학습시키는 학습부를 포함하는 이상유동의 형태 판별 장치.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 복수의 속도 특징은,

상기 타겟 지점 상의 액체의 최대 속도비 및 최대 속도 차이비를 포함하며,

상기 최대 속도비(R_{max}) 및 최대 속도 차이비(R_{diff})는 아래 수학적식으로 정의되는 이상유동의 형태 판별 장치:

$$R_{max} = U_{max}/U_{mix}, \quad R_{diff} = (U_{maxg} - U_{maxi})/U_{mix}$$

여기서, U_{max} 는 현재 주기에서 관측된 액체의 시간별 속도값 중 최대값, U_{mix} 는 기체와 액체의 겹보기 속도를 합산한 값, U_{maxg} 는 과거부터 현재까지 N개 주기 동안 관측된 N개의 U_{max} 값 중 최대값, U_{maxi} 는 현재 주기에서 관측된 액체의 시간별 속도값 중 최대값으로 $U_{maxi}=U_{max}$ 이다.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 복수의 속도 특징은,

상기 타겟 지점 상의 액체의 평균속도를 더 포함하며,

상기 평균속도는,

현재 주기에서 관측된 액체의 시간별 속도값을 모두 평균한 값인 이상유동의 형태 판별 장치.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 머신 러닝 알고리즘은,

KNN(K nearest neighbor) 알고리즘, SVM(Support vector machine) 알고리즘, 의사 결정 트리(Decision Tree) 알고리즘 중에서 선택된 하나인 이상유동의 형태 판별 장치.

청구항 6

수평관 내 기체와 액체의 이상유동의 형태를 판별하는 장치를 이용한 이상유동의 형태 판별 방법에 있어서,

기체와 액체가 혼합된 유체가 수평관을 이동하는 동안, 센서를 통해 상기 수평관 내부의 타겟 지점 상에서의 액체의 시간별 속도값을 획득하는 단계;

상기 수평관에 공급되는 기체와 액체의 현재 겹보기 속도와 상기 획득된 타겟 지점 상의 액체의 시계열 속도값을 이용하여 상기 타겟 지점을 지나는 액체에 대한 복수의 속도 특징을 가공하는 단계; 및

상기 가공된 복수의 속도 특징을 기 학습된 머신 러닝 알고리즘에 입력하여 상기 타겟 지점에 대한 이상유동의 형태를 층상 유동, 플러그 유동, 슬러그 유동 및 쇄퇴 슬러그 유동 중 어느 하나로 분류하는 단계를 포함하는 이상유동의 형태 판별 방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

서로 다른 조합의 기체와 액체의 겹보기 속도 조건마다, 해당 조건에서 상기 타겟 지점 상에서 센서를 통해 측정된 액체의 시계열 속도값 및 타겟 지점에서 실제 관측된 이상유동의 형태에 관한 데이터를 각각 수집하는 단계; 및

해당 조건에서의 기체와 액체의 겹보기 속도와 상기 측정된 액체의 시계열 속도값을 이용하여 산출된 복수의 속도 특징과, 해당 조건에서 타겟 지점에서 실제 관측된 이상유동의 형태를 학습 데이터로 사용하여, 상기 머신 러닝 알고리즘을 사전 학습시키는 단계를 더 포함하는 이상유동의 형태 판별 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 복수의 속도 특징은,

상기 타겟 지점 상의 액체의 최대 속도비 및 최대 속도 차이비를 포함하며,

상기 최대 속도비(R_{max}) 및 최대 속도 차이비(R_{diff})는 아래 수학적식으로 정의되는 이상유동의 형태 판별 방법:

$$R_{max} = U_{max}/U_{mix}, \quad R_{diff} = (U_{maxg} - U_{maxi})/U_{mix}$$

여기서, U_{max} 는 현재 주기에서 관측된 액체의 시간별 속도값 중 최대값, U_{mix} 는 기체와 액체의 겹보기 속도를 합산한 값, U_{maxg} 는 과거부터 현재까지 N개 주기 동안 관측된 N개의 U_{max} 값 중 최대값, U_{maxi} 는 현재 주기에서 관측된 액체의 시간별 속도값 중 최대값으로 $U_{maxi}=U_{max}$ 이다.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 복수의 속도 특징은,

상기 타겟 지점 상의 액체의 평균속도를 더 포함하며,

상기 평균속도는,

현재 주기에서 관측된 액체의 시간별 속도값을 모두 평균한 값인 이상유동의 형태 판별 방법.

청구항 10

청구항 7에 있어서,

상기 머신 러닝 알고리즘은,

KNN(K nearest neighbor) 알고리즘, SVM(Support vector machine) 알고리즘, 의사 결정 트리(Decision Tree) 알고리즘 중에서 선택된 하나인 이상유동의 형태 판별 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 지도학습을 이용한 이상유동의 형태 판별 장치 및 그 방법에 관한 것으로서, 수평관 내에 흐르는 이상유동 유체의 유동 형태를 정확하게 분류할 수 있는 지도학습을 이용한 이상유동의 형태 판별 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 하나의 관내에 두 가지 이상의 유체를 동시에 흘려보내는 다상 유동은 원유 수송 파이프나 발전소의 스팀 파이프 등 다양한 산업 현장에서 흔히 사용되고 있는 유체 운반 방식이다.

[0003] 일반적으로 이상유동(Two-phase flow) 유체란 액체와 기체가 혼합된 2상의 유체를 말한다. 이러한 이상유동 현상은 관내를 흐르는 유체의 조건에 따라 다양한 유동 형태들을 가진다.

[0004] 관내를 흐르는 이상유동의 형태는 액체와 기체의 걸보기 속도, 관내 압력 조건 등에 따라 달라지는데 그 물리적, 형태적 특성에 따라 층상 유동(separated flow), 플러그 유동(plug flow), 슬러그 유동(slug flow) 등으로 구분된다. 여기서 슬러그 유동이 오래 지속될 경우 파이프 손상, 파손 등의 결함이 발생하는 문제가 있다.

[0005] 이처럼 이상유동은 그 유동 형태에 따라 물질 및 운동량 전달량이 크게 변하게 되며 이에 따른 파이프 손상 및 유체 전달량 감소는 산업 전반에 걸쳐 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 파이프 내부를 흐르는 이상유동 유체에 대한 이상유동 패턴을 실시간 정확하게 예측하고 분류할 수 있는 기술이 요구된다.

[0006] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국공개특허 제2015-0077590호(2015.07.08 공개)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 지도학습을 기반으로 수평관 내 이상유동의 형태를 빠르고 정확하게 분류할 수 있는 지도학습을 이용한 이상유동의 형태 판별 장치 및 그 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명은, 기체와 액체가 혼합된 유체가 수평관을 이동하는 동안, 센서를 통해 상기 수평관 내부의 타겟 지점 상에서의 액체의 시간별 속도값을 획득하는 속도 데이터 획득부와, 상기 수평관에 공급되는 기체와 액체의 현재 걸보기 속도와 상기 획득된 타겟 지점 상의 액체의 시계열 속도값을 이용하여 상기 타겟 지점을 지나는 액체에 대한 복수의 속도 특징을 가공하는 특징 연산부, 및 상기 가공된 복수의 속도 특징을 기 학습된 머신 러닝 알고리즘에 입력하여 상기 타겟 지점에 대한 이상유동의 형태를 층상 유동, 플러그 유동, 슬러그 유동 및 쇄퇴 슬러그 유동 중 어느 하나로 분류하는 이상유동 판별부를 포함하는 이상유동의 형태 판별 장치를 제공한다.

[0009] 또한, 상기 이상유동의 형태 판별 장치는, 서로 다른 조합의 기체와 액체의 걸보기 속도 조건마다, 해당 조건에서 상기 타겟 지점 상에서 센서를 통해 측정된 액체의 시계열 속도값 및 타겟 지점에서 실제 관측된 이상유동의 형태에 관한 데이터를 각각 수집하는 데이터 수집부, 및 해당 조건에서의 기체와 액체의 걸보기 속도와 상기 측정된 액체의 시계열 속도값을 이용하여 산출된 복수의 속도 특징과, 해당 조건에서 타겟 지점에서 실제 관측된 이상유동의 형태를 학습 데이터로 사용하여, 상기 머신 러닝 알고리즘을 사전 학습시키는 학습부를 더 포함할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 복수의 속도 특징은, 상기 타겟 지점 상의 액체의 최대 속도비 및 최대 속도 차이비를 포함하며, 상기 최대 속도비(R_{max}) 및 최대 속도 차이비(R_{diff})는 아래 수학적식으로 정의될 수 있다.

$$R_{max} = U_{max}/U_{mix}, \quad R_{diff} = (U_{maxg} - U_{maxi})/U_{mix}$$

여기서, U_{max} 는 현재 주기에서 관측된 액체의 시간별 속도값 중 최대값, U_{mix} 는 기체와 액체의 겹보기 속도를 합산한 값, U_{maxg} 는 과거부터 현재까지 N개 주기 동안 관측된 N개의 U_{max} 값 중 최대값, U_{maxi} 는 현재 주기에서 관측된 액체의 시간별 속도값 중 최대값으로 $U_{maxi}=U_{max}$ 이다.

또한, 상기 복수의 속도 특징은, 상기 타겟 지점 상의 액체의 평균속도를 더 포함하며, 상기 평균속도는, 현재 주기에서 관측된 액체의 시간별 속도값을 모두 평균한 값일 수 있다.

또한, 상기 머신 러닝 알고리즘은, KNN(K nearest neighbor) 알고리즘, SVM(Support vector machine) 알고리즘, 의사 결정 트리(Decision Tree) 알고리즘 중에서 선택된 하나일 수 있다.

그리고, 본 발명은, 수평관 내 기체와 액체의 이상유동의 형태를 판별하는 장치를 이용한 이상유동의 형태 판별 방법에 있어서, 기체와 액체가 혼합된 유체가 수평관을 이동하는 동안, 센서를 통해 상기 수평관 내부의 타겟 지점 상에서의 액체의 시간별 속도값을 획득하는 단계와, 상기 수평관에 공급되는 기체와 액체의 현재 겹보기 속도와 상기 획득된 타겟 지점 상의 액체의 시계열 속도값을 이용하여 상기 타겟 지점을 지나는 액체에 대한 복수의 속도 특징을 가공하는 단계, 및 상기 가공된 복수의 속도 특징을 기 학습된 머신 러닝 알고리즘에 입력하여 상기 타겟 지점에 대한 이상유동의 형태를 층상 유동, 플러그 유동, 슬러그 유동 및 쇄퇴 슬러그 유동 중 어느 하나로 분류하는 단계를 포함하는 이상유동의 형태 판별 방법을 제공한다.

또한, 상기 이상유동의 형태 판별 방법은, 서로 다른 조합의 기체와 액체의 겹보기 속도 조건마다, 해당 조건에서 상기 타겟 지점 상에서 센서를 통해 측정된 액체의 시계열 속도값 및 타겟 지점에서 실제 관측된 이상유동의 형태에 관한 데이터를 각각 수집하는 단계; 및 해당 조건에서의 기체와 액체의 겹보기 속도와 상기 측정된 액체의 시계열 속도값을 이용하여 산출된 복수의 속도 특징과, 해당 조건에서 타겟 지점에서 실제 관측된 이상유동의 형태를 학습 데이터로 사용하여, 상기 머신 러닝 알고리즘을 사전 학습시키는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

본 발명에 따르면, 수평관 내부의 타겟 지점에서 계측된 액체의 시계열 속도값을 통해 가공한 속도 특징들을 머신 러닝 알고리즘에 적용함으로써, 타겟 지점에서의 이상유동의 형태를 층상 유동, 플러그 유동, 슬러그 유동 쇄퇴 슬러그 유동 중 어느 하나로 정확하게 분류하고 예측할 수 있다.

또한, 기계 학습을 위한 속도 특징으로 해당 지점에 대한 액상의 최대 속도비는 물론 최대 속도 차이비를 활용함으로써, 최대 속도비만으로 분별이 어려운 플러그 유동과 쇄퇴 슬러그 유동을 서로 명확히 구분할 수 있는 장점을 갖는다.

또한 액체의 평균 속도를 추가적인 특징으로 활용할 경우 머신 러닝 알고리즘의 분류 정확도를 더욱 높일 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 실시예에 사용된 이상유동 유체 실험 장비를 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 2는 도 1에 도시된 초음파 변환기의 설치 위치를 설명한 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에서 훈련에 사용된 다양한 조합의 기체와 액체의 속도 조건을 예시한 도면이다.

도 4는 도 3에 나타낸 다양한 조합의 속도 조건과 그에 대응된 이상유동의 형태를 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 이상유동의 형태 판별 장치의 구성을 나타낸 도면이다.

도 6은 도 5를 이용한 이상유동의 형태 판별 방법을 설명한 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예에서 수평관의 타겟 지점 상에서 측정된 액상의 시계열 속도 데이터 예시를 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시예에서 쇄퇴 플러그 유동이 발생한 시계열 속도 데이터 예시를 나타낸 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시예에서 최대 속도비만을 이용하여 이상유동 형태를 분류한 모습을 예시한 도면이다.

도 10은 본 발명의 실시예에서 최대 속도비만을 이용하여 이상유동 형태를 분류한 모습을 예시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 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.
- [0022] 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.
- [0023] 본 발명은 지도학습을 기반으로 수평관 내 이상유동의 형태를 판별하는 장치 및 그 방법에 관한 것으로, 수평관의 타겟 지점에서 측정된 시간에 따른 액상의 속도 값을 이용하여 다양한 속도 특징들을 가공하고 이들 속도 특징들을 기 학습된 머신 러닝 모델에 입력함으로써 타겟 지점을 지나는 이상유동 유체의 유동 형태를 쉽게 판별하고 예측하는 기법을 제안한다.
- [0024] 본 발명의 상세한 설명에 앞서 본 실시예에 사용된 이상유동 유체 실험 장비를 간략히 설명한다.
- [0025] 도 1은 본 발명의 실시예를 위한 이상유동 유체 실험 장비를 개략적으로 나타낸 도면이다. 실험 장비는 이상유동의 형태 관찰이 용이하도록 투명한 소재의 수평 파이프(10)(이하, 수평관)가 사용되었다. 수평관(1)의 입구 부분에는 믹서(Mixer)가 구비되고 이를 통해 입구 상부 부분으로는 기체 공급관에서 공급된 기체가 유입되고 입구 하부 부분으로는 액체 공급관에서 공급된 액체가 유입되어 서로 혼합 유동한다. 이렇게 2개의 상이 혼합된 이상유동(Two-phase flow) 유체의 흐름 방향(Flow direction)을 따라 이동한다.
- [0026] 작동 유체인 기체와 액체는 각각 공기와 물을 사용하였다. 물론 본 발명이 반드시 이에 한정되지 않는다. 도 1에 도시된 것과 같이 기체는 압축기(compressor)를 거쳐 기체 공급관 내로 공급된다. 이때 공급되는 기체의 유량은 질량 유량계(MFC; Mass Flow Controller)에 의해 조절 및 측정되며, 기체의 압력과 온도는 압력계(P)와 온도계(T)에 의해 실시간 감시되어진다.
- [0027] 우측 하단의 원심 펌프는 배관 계통의 액체를 순환시키는데 사용된다. 공급되는 액체의 유량은 보텍스 유량계(Flowmeter)를 통하여 측정되며, 유량은 펌프 출구와 입구 우회로에 설치된 밸브에 의해 제어된다.
- [0028] 수평관(1)의 출구 부분에는 초음파 변환기(Ultrasound transducer)(10)가 설치된다. 초음파 변환기(10)와 초음파 도플러 유속계(UDV; Ultrasound Doppler Velocimetry)(20)는 하나의 초음파 유속 센서이며, 해당 부분을 흐르는 액체의 속도 즉, 액상 속도(liquid phase velocity)를 직접 측정하도록 사용된다. 본 실시예에서 4MHz 초음파 변환기가 사용되었다.
- [0029] 초음파 변환기(10)의 프로브는 배관 내측 또는 외측에 배치될 수 있는데, 도 1은 내측에 배치된 것을 나타낸다. 도 1의 경우 초음파 변환기(10)는 수평관(1)의 입구로부터 설정 거리 떨어진 하류(출구) 부분(이하, 타겟 지점)의 저면에 설치되어 있다.
- [0030] 도 2는 도 1에 도시된 초음파 변환기의 설치 위치를 설명한 도면이다. 도 2와 같이, 초음파 변환기(10)는 수평관(1) 내부에 유체의 흐름 방향과 평행하게 배치되며, 그 중심부의 높이가 바닥에서 9mm 높이가 되도록 설치된다. 여기서 수평관(1)의 내경은 51mm이고 길이는 11.5m를 사용하였다.
- [0031] 측정 영역은 측정된 유장에 대한 변환기의 영향을 최소화하기 위해 변환기 끝에서 20.4 mm 떨어진 곳에 유지되었고, 측정 라인(measuring line)의 총 길이는 80 mm이다. 본 발명의 실시예는 측정 라인 상의 어느 한 지점에서의 유속을 측정한 것을 가정한다.
- [0032] 초음파 도플러 유속계(20)는 초음파 변환기(10)와 연결되어 초음파 변환기(20)에서 측정된 초음파 신호를 이용하여 액체의 유속을 측정하며, 유체의 흐름 방향에 대한 속도 분포를 측정할 수 있다. 이하에서는 이들을 한 세트의 초음파 유속 센서로 명명한다.
- [0033] 초고속 카메라(30)는 수평관(1) 외측에서 타겟 지점의 영상을 실시간 촬영 및 녹화함으로써 타겟 지점 상의 이

상유동의 형태를 관찰하기 위한 시각화 데이터를 제공한다. 초고속 카메라(30)는 컴퓨터(100)에 의해 초음파 도플러 유속계(20)와 동기화되어 동작한다.

- [0034] 컴퓨터(100)는 도플러 유속계(20)로부터 획득된 시간에 따른 액상의 속도와 초고속 카메라(30)로부터 획득된 시간에 따른 영상을 수집하며 상호 시간 별로 매칭하여 저장할 수 있다. 컴퓨터(100)는 프로세서, 메모리, 유저 인터페이스 입출력 장치, 저장 장치 등을 포함할 수 있다.
- [0035] 그리고, 실험 과정에서 기체와 액체의 유량 조건으로, 기체의 겉보기 속도(J_G)는 0.08~1.28m/s, 액체의 겉보기 속도(J_L)는 0.08~0.6m/s 범위에서 변화시켰다. 이는 이상유동의 형태는 기체와 액체의 겉보기 속도 조건에 의해 영향을 받는 것과 관계된다.
- [0036] 이때, 이상유동의 형태 분류 모델을 훈련하기 위하여, 본 발명의 실시예는 다양한 흐름 조건을 사용하였으며, 서로 다른 속도 조합으로 구성된 복수의 조건에서 측정을 수행하였다.
- [0037] 도 3은 본 발명의 실시예에서 훈련에 사용된 다양한 조합의 기체와 액체의 속도 조건을 예시한 도면이다. 도 3에서 가로축은 기체의 겉보기 속도(gas superficial velocity; J_G), 세로축은 액체의 겉보기 속도(liquid superficial velocity; J_L)를 나타내며, 도 3에 나타낸 89개의 점은 해당 범위 내에서 결정된 서로 다른 속도 조합의 조건에 해당한다.
- [0038] 도 4는 도 3에 나타낸 다양한 조합의 속도 조건과 그에 대응하여 관측된 이상유동의 형태를 나타낸 도면이다. 도 4는 편의상 도 3의 89개 점들 중 우측의 일부 점들을 생략하여 총 69개 점을 대상으로 그에 대응하여 관측된 이상유동의 형태를 매핑하여 색상 별로 구분한 것이다. 여기서 설명의 편의를 위해 속도 특성과 경계가 명확한 층상 유동(separated flow), 플러그 유동(plug flow), 슬러그 유동(slug flow)에 대한 결과 위주로 나타내었다.
- [0039] 도 4를 참조하면, 기체와 액체 모두 겉보기 속도가 낮은 조건일 때 층상유동 형태가 주로 나타나고, 그 보다 액체 속도가 높아지면 플러그 유동 형태로 나타나고, 플러그 유동에서 보다 기체 속도가 높아질 때 슬러그 유동 형태가 나타난다. 도시되지는 않았으나 쇄퇴 슬러그 유동은 슬러그 유동보다 액체의 속도가 감소한 경우로서 플러그 유동과는 다소 구분이 어렵다. 후술하겠지만 본 발명의 기법에 의하면 슬러그 유동 중에서도 쇄퇴 슬러그 유동도 분류해낼 수 있다.
- [0040] 이와 같이, 본 발명의 실시예는 서로 다른 속도 조합을 가지는 총 89개의 조건을 적용하여 학습에 필요한 데이터를 수집할 수 있다. 컴퓨터(100)는 각 조건에 대하여, 센서로부터 측정된 시계열 속도 데이터와, 영상에서 관측된 이상유동의 형태(종류)를 수집하고 이를 서로 매핑하여 머신 러닝 알고리즘에 적용함으로써, 이상유동 분류 모델을 학습시킬 수 있다.
- [0041] 앞서 도 1에 나타낸 실험 장비는 훈련 데이터 수집 및 분류 테스트에 활용된 것이므로, 실제 현장의 설비 시설은 이와 일부 상이할 수도 있다. 예를 들어, 실제 현장의 수평 파이프의 재질은 불투명하고 초고속 카메라는 미운용될 수 있다.
- [0042] 이하에서는 상술한 내용을 바탕으로 본 발명의 실시예에 따른 이상유동 형태 판별 장치 및 방법을 더욱 상세히 설명한다.
- [0043] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 이상유동의 형태 판별 장치의 구성을 나타낸 도면이고, 도 6은 도 5를 이용한 이상유동 형태 판별 방법을 설명한 도면이다.
- [0044] 도 5 및 도 6을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 이상유동의 형태 판별 장치(100)는 데이터 수집부(110) 및 학습부(120), 속도 데이터 획득부(130), 특징 연산부(140), 이상유동 판별부(150), 출력부(160)를 포함할 수 있다.
- [0045] 이상유동 형태 판별 장치(100)는 도 1에 도시된 컴퓨터(10)와 같이 사용자 단말의 형태로 구현될 수도 있고, 사용자 단말에 실행 가능한 응용 프로그램으로 구현될 수도 있다.
- [0046] 우선, 데이터 수집부(110) 및 학습부(120)는 머신 러닝 알고리즘의 사전 훈련을 위한 데이터를 수집 및 학습하는데 사용되는 학습 수단에 해당한다. 나머지 속도 데이터 획득부(130), 특징 연산부(140), 이상유동 판별부(150), 출력부(160)는 학습이 완료된 모델을 기반으로 분석 대상이 되는 수평관의 타겟 지점 상에 흐르는 이상유동의 형태(패턴)를 예측(판별)하는 예측 수단에 해당한다. 여기서 물론, 예측 수단은 학습 수단을 통해 구축

된 학습 모델을 기반으로 구성된다.

- [0047] 따라서, 학습이 완료된 이후부터는 예측 수단만으로도 동작이 가능하므로, 본 발명의 실시예에 따른 이상유동의 형태 판별 장치(100)는 학습 수단의 구성요소(110,120)를 제외한 예측 수단으로만 구성될 수도 있음은 물론이다.
- [0048] 이하에서는 설명의 편의상 학습 수단에 의한 기계 학습 과정을 먼저 설명하고 이후 이를 기반으로 하는 예측 수단에 의한 유동 형태 분류 기법을 상세히 설명한다.
- [0049] 먼저, 데이터 수집부(110)는 기계 학습에 필요한 학습 데이터를 수집한다(S610).
- [0050] 구체적으로, 데이터 수집부(110)는 도 3과 같은 서로 다른 조합의 기체와 액체의 겹보기 속도 조건마다, 해당 조건에서 수평관(1)의 타겟 지점 상에서 센서(10)를 통해 측정된 액체의 시계열 속도값 및 타겟 지점에서 초고속 카메라(미도시)를 통해 실제 관측된 이상유동의 형태에 관한 데이터 세트를 각각 수집한다.
- [0051] 본 발명의 실시예는 수평관(1)의 입구로부터 설정 거리 이격된 출구 지점을 타겟 지점으로 하며 타겟 지점은 이상유동의 형태 모니터링이 필요한 관심 부위일 수 있다.
- [0052] 센서(10)는 도 1에서 설명한 초음파 유속 센서를 사용할 수 있으나, 다른 종류의 센서를 활용할 수도 있다. 초음파 유속 센서는 도 1과 같이 초음파 변환기와 도플러 유속계를 포함하여 구성될 수 있는데, 도 5의 경우 설명의 편의상 수평관 내에 설치된 초음파 변환기(10)만 도시하였다.
- [0053] 서로 다른 조건에서 측정된 액상의 시계열 속도 데이터 예시는 도 7과 같다.
- [0054] 도 7은 본 발명의 실시예에서 수평관의 타겟 지점 상에서 측정된 액상의 시계열 속도 데이터 예시를 나타낸 도면이다.
- [0055] 이때, 비교가 용이하도록 간단히 세 가지 조건(a: $J_L=0.08$ m/s, $J_G=0.32$ m/s, b: $J_L=0.50$ m/s, $J_G=0.08$ m/s, c: $J_L=0.50$ m/s, $J_G=0.40$ m/s)에서 측정된 속도 변화 데이터를 함께 나타내었다. 이들 세 조건에서 타겟 지점상에서 실제 관측된 이상유동의 형태는 각각 층상 유동, 플러그 유동, 슬러그 유동에 해당한다.
- [0056] 도 7을 참조하면, 층상 유동일 때는 타겟 지점 상의 액상의 속도 값이 가장 낮게 측정되고 시간에 따른 주기성이 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 반면, 플러그 유동일 때는 시간 별 속도 데이터에서 명확한 주기적 변화 경향을 보이며 액상의 속도 값이 층상 유동보다 높은 유속으로 측정된다. 슬러그 유동 역시 명확한 주기적 변화 경향을 나타내며 플러그 유동일 때보다 더욱 높은 유속으로 측정된다.
- [0057] 도 7과 같이 이상유동의 형태(종류)에 따라 해당 지점에서 측정되는 액체의 시계열 속도가 상이한 양상을 가지는데, 본 발명의 실시예는 이와 같이 서로 다른 시계열 속도 양상으로부터 추출한 속도 특징(예: 최대속도비, 최대 속도차이비, 평균속도)을 기계 학습하는 것을 통해 이상유동의 형태(종류)를 효과적으로 분류하도록 한다.
- [0058] 다만 동일 조건에서도 쇠퇴 슬러그 유동이 발생할 수 있으며 쇠퇴 슬러그 유동은 다음과 같은 특징을 가진다.
- [0059] 도 8은 본 발명의 실시예에서 쇠퇴 플러스 유동이 발생한 시계열 속도 데이터 예시를 나타낸 도면이다. 이때의 기체와 액체의 겹보기 속도 조건은 $J_L=0.50$ m/s, $J_G=0.40$ m/s이다.
- [0060] 도 8을 참조하면, 쇠퇴 슬러그 유동(Decaying slug)은 완전히 성장한 슬러그 유동(Developed slug) 보다 액체의 유속이 현저히 감소한 상태이며, 함께 표기한 촬영 이미지를 참조하면, 액체의 유속이 감소되면서 슬러그 유동이 유지되지 못하고 슬러그 바디의 길이가 더욱 짧아져 쇠퇴하는 유동 형태임을 알 수 있다. 이 경우 속도 파형의 주기도 슬러그 유동때보다 짧아지게 된다.
- [0061] 이러한 슬러그 유동 상태의 경우 액상의 유속이 플러그 유동일 때와 유사하여 구분이 어려울 수 있는데, 본 발명의 실시예는 시계열 속도 데이터로부터 최대 속도비 뿐만 아니라 최대 속도 차이비를 특징 값으로 획득함으로써 이러한 문제를 해결할 수 있다.
- [0062] 그리고, 이상유동의 형태는 도 3 및 도 4과 같이 수평관(1)에 공급되는 기체와 액체의 유량 관련 요소인 겹보기 속도와의 관련이 있으므로, 본 발명의 실시예에서는 겹보기 속도에 대한 데이터도 특징 연산에 활용되어 진다.
- [0063] 다음은 데이터 수집부(110)에서 수집한 데이터를 기초로 머신 러닝 모델을 학습하는 과정을 설명한다.
- [0064] 학습부(120)는 도 3에 나타난 각각의 조건(예: 89가지 조건)마다, 해당 조건에서 기체와 액체의 겹보기 속도 및

액체의 시계열 속도값에 의해 산출되는 '복수의 속도 특징'과, 해당 조건에서 타겟 지점에서 실제 관측된 '이상 유동의 형태'를 훈련 데이터 셋으로 구성하고, 이를 이용하여 머신 러닝 알고리즘을 사전 학습시킨다(S620).

[0065] 구체적으로, 학습부(120)는 각 조건마다, 해당 조건의 기체와 액체의 겉보기 속도와, 실제 센서(10)로부터 측정된 액체의 시계열 속도값을 이용하여 복수의 속도 특징을 산출한다.

[0066] 여기서, 복수의 속도 특징은 타겟 지점 상의 액체의 최대 속도비(R_{max}) 및 최대 속도 차이비(R_{diff})를 포함한다. 이때, 최대 속도비(R_{max})와 최대 속도 차이비(R_{diff})는 아래 수학적 식 1과 2와 같이 정의될 수 있다.

수학적 식 1

[0067]
$$R_{max} = U_{max}/U_{mix}$$

수학적 식 2

[0068]
$$R_{diff} = (U_{maxg} - U_{maxi})/U_{mix}$$

[0069] 여기서, U_{max} 는 현재 주기에서 관측된 액체의 시간별 속도값 중 최대값, U_{mix} 는 기체와 액체의 겉보기 속도를 합산한 값, U_{maxg} 는 과거부터 현재까지 N개 주기 동안 관측된 N개의 U_{max} 값 중 최대값, U_{maxi} 는 현재 주기에서 관측된 액체의 시간별 속도값 중 최대값으로 $U_{maxi}=U_{max}$ 이다.

[0070] 즉, 최대 속도비(R_{max})는 현재의 한 주기에서의 속도 최대값을 기체와 액체의 겉보기 속도의 합(U_{mix})으로 나눈 비율이고, 최대 속도 차이비(R_{diff})는 현재까지의 모든 U_{max} 값 중 최대치 U_{maxg} 와 현재 한 주기에서의 속도 최대치 U_{maxi} 간의 차이를 U_{mix} 로 나눈 비율에 해당한다. 만일, 현재 주기의 U_{maxi} 가 과거 대비 가장 높은 값이라면, $U_{maxg}=U_{maxi}$ 가 되어 $R_{diff}=0$ 이 된다.

[0071] 본 발명의 실시예는 한 주기를 2.5초로 하여 총 100개 주기에 해당하는 250초(100 세트)의 속도 데이터를 학습에 사용하였다. 물론 이러한 동작은 도 3에 나타낸 각 조건의 케이스마다 적용될 수 있다.

[0072] 그리고, 본 발명의 실시예는 복수의 속도 특징으로, 최대 속도비, 최대 속도 차이비 이외에도, 타겟 지점 상의 액체의 평균속도를 더 포함할 수 있다. 여기서, 평균속도는 현재 주기에서 관측된 액체의 시간별 속도값을 모두 평균한 값에 해당할 수 있다. 이 경우 머신 러닝의 입력 특징은 총 3가지가 되며, 이와 같이 평균 속도를 기계 학습을 위한 추가적인 특징값으로 활용할 경우 분류 정확도를 더욱 높일 수 있다.

[0073] 이와 같이 추출된 속도 특징들은 머신 러닝 모델을 훈련시키기 위한 입력 데이터로 사용된다.

[0074] 학습부(120)는 해당 조건에서 산출된 복수의 속도 특징과, 해당 조건에서 타겟 지점에서 실제 관측된 이상유동의 형태를 학습 데이터로 사용하여, 속도 특징들로부터 이상유동 형태를 분류하도록 머신 러닝 알고리즘(머신 러닝 모델)을 사전 학습시킨다.

[0075] 즉, 머신 러닝 알고리즘은 입력되는 속도 특징값들로부터 그에 대응된 이상유동의 형태를 분류 결과로 출력하도록 학습된다. 속도 특징값은 최대 속도비, 최대 속도 차이비 이외에도 최대 속도를 더 포함할 수 있다.

[0076] 본 발명의 실시예에서 분류 대상이 되는 이상유동의 형태(종류)는 층상 유동(separated flow), 플러그 유동(plug flow), 슬러그 유동(slug flow), 그리고 쇠퇴 슬러그 유동(decaying slug flow)을 포함한다. 따라서 본 발명의 실시예는 이상유동의 형태를 4 단계로 분류할 수 있다. 각 유동 형태의 특징을 간략히 설명하면 다음과 같다.

[0077] 층상 유동은 액체 유량(겉보기 속도)과 기체 유량(겉보기 속도)이 모두 낮을 때 형성되는 유동 형태로, 수평관의 상부에는 기체가 흘러가고 관의 하부에는 액체가 흘러가므로 기체와 액체가 완전 분리된 상태로 흐르게 되며, 기체와 액체의 경계면에 파형이 거의 형성되지 않는다.

[0078] 플러그 유동은 액체의 유량이 증가하면서 발달하는 유동 형태로, 수평으로 긴 형상의 기포들이 관의 상부를 따

라 이동하고 나머지 부분에 액체 플러그가 형성되는 유동이다. 즉, 플러그 유동은 기체가 긴 기포 형태로 간헐적으로 액체와 함께 흐르는 형태를 가진다.

- [0079] 슬러그 유동은 플러그 유동에 비해 기체의 유량이 증가하면서 액체가 관의 상부까지 닿아 부피를 가지는 상태로 흘러가는 유동 형태를 갖는다.
- [0080] 쇠퇴 슬러그 유동은 앞서 설명한 바와 같이 슬러그 유동 이후 액체의 속도가 낮아질 때 슬러그의 길이가 짧아지면서 슬러그 크기가 쇠퇴하는 유동 양상을 가진다. 이에 따라 쇠퇴 슬러그 유동은 플러그 유동과는 구분이 어려울 수 있다.
- [0081] 본 발명의 실시예는 최대 속도 차이비를 활용함으로써, 플러그 유동과 쇠퇴 슬러그 유동 간을 명확히 구분해낼 수 있다. 최대 속도비는 층상 유동을 플러그/슬러그 유동과 구분하는데 효과적이며, 최대 속도차이비는 플러그 유동과 쇠퇴 슬러그 유동을 구분하는데 효과적이다.
- [0082] 본 발명의 실시예는 플러그 유동과 쇠퇴 슬러그 유동 간을 구분하는 것에 보다 중점을 두고 있어, 이하의 도면 및 설명에서는 슬러그 유동(원전 성정한 슬러그)에 대한 데이터를 생략하여 설명한다.
- [0083] 도 9는 본 발명의 실시예에서 최대 속도비만을 이용하여 이상유동 형태를 분류한 모습을 예시한 도면이다. 이때 유동 형태 별로 복수의 샘플 데이터가 사용되었다. 따라서 세로축은 최대 속도비(R_{max}), 가로축은 해당 R_{max} 값이 나온 샘플 수를 나타낸다.
- [0084] 도 9를 참조하면, 층상 유동의 R_{max} 범위는 0.3~0.5 사이에 분포한 반면, 쇠퇴 슬러그 유동의 경우 R_{max} 는 0.95~1.05 범위에 분포하고, 플러그 유동의 R_{max} 는 0.95~1.4 범위에 분포한다. 여기서 슬러그 유동은 플러그 유동보다 높은 범위에 존재하며 도면에서는 생략하였다.
- [0085] 이때, 플러그 유동의 R_{max} 범위와 쇠퇴 슬러그 유동의 R_{max} 범위가 서로 겹치기 때문에, 속도 특징 중에서 최대 속도비(R_{max})는 층상 유동과 나머지 플러그/슬러그 유동 간의 구분에만 유효한 것을 알 수 있다.
- [0086] 따라서 기계 학습 과정에서 R_{max} 를 사용하여 모델을 훈련할 때는 예를 들어 층상 유동에 해당하는 R_{max} 의 경우 층상 유동으로 태깅하여 훈련하고 플러그 및 쇠퇴 슬러그 유동에 해당하는 R_{max} 의 경우 플러그/쇠퇴 슬러그 유동으로 태깅하여 훈련할 수 있다. 물론, 슬러그 유동에 해당하는 R_{max} 의 경우에도 슬러그 유동으로 태깅하여 훈련할 수도 있다.
- [0087] 도 10은 본 발명의 실시예에서 최대 속도비만을 이용하여 이상유동 형태를 분류한 모습을 예시한 도면이다. 유동 형태 별로 복수의 샘플 데이터가 사용되었으며, 세로축은 최대 속도 차이비(R_{diff}), 가로축은 해당 R_{diff} 값이 나온 샘플 수를 나타낸다.
- [0088] 도 10은 설명의 편의상 플러그 유동과 쇠퇴 슬러그 유동에 대한 R_{diff} 분포 결과만 도시하였다. 도 10과 같이, 플러그 유동의 R_{diff} 는 0.1 보다 큰 반면, 쇠퇴 슬러그 유동은 0.1보다 작은 것을 알 수 있다. 따라서 플러그 유동과 쇠퇴 슬러그 유동 간에 분명한 R_{diff} 경계가 존재함을 알 수 있다. 도시하지 않았으나 슬러그 유동의 R_{diff} 는 0에 보다 가까우며 0.05 이하 영역에 분포할 수 있다.
- [0089] 이와 같이, 본 발명의 실시예는 최대 속도비 뿐만 아니라, 최대 속도 차이비를 추가로 활용함으로써 층상 유동, 플러그 유동, 슬러그 유동은 물론, 쇠퇴 슬러그 유동을 명확히 구분할 수 있다.
- [0090] 이와 같이, 본 발명에 의하면, 머신 러닝 모델은 입력되는 특징으로부터 이상유동의 종류를 상술한 4가지 중 어느 하나로 분류할 수 있다. 이와 같이 머신 러닝 모델은 복수의 속도 특징을 입력받으면 그에 대응되는 이상유동 형태 분류 결과를 출력한다.
- [0091] 머신 러닝 알고리즘은 입력된 속도 특징들과 그에 대응된 이상유동의 형태에 해당하는 라벨링 값을 이용하여 기계 학습함으로써, 속도 특징의 입력 시에 그에 대응된 이상유동의 종류(형태)를 분류해낼 수 있다.
- [0092] 여기서, 머신 러닝 알고리즘은, 대표적인 분류 알고리즘인 KNN(K nearest neighbor) 알고리즘, SVM(Support vector machine) 알고리즘, 의사 결정 트리(Decision Tree) 알고리즘 등을 사용할 수 있으며, 각 조건 별로 액체의 속도 특징들과 그에 대응된 이상유동의 종류에 해당하는 라벨링 값을 이용하여 지도 학습을 수행한다.

- [0093] SVM 알고리즘은 데이터를 분류하기 위해 각 기준점 선형 모델에 대해 학습하며, 학습 결과에 따라 선형 결정 경계가 생성된다. 의사결정 트리는 주어진 조건 하에서 이루어지는 알고리즘이며, 그 방법론은 조건부 확률의 계산에 근거하여 결정이 이루어지는 베이즈의 정리와 유사하다. KNN의 데이터 예측 방식은 훈련 세트를 암기하고 훈련 세트에서 가장 가까운 이웃을 기준으로 데이터를 분류하는 방식의 비교적 단순한 알고리즘이다.
- [0094] 학습이 완료된 이후부터는 수평관(1)의 타겟 지점에서 현재 주기에 측정된 시계열 속도 데이터를 통해 속도 특징들을 가공 후 머신 러닝 모델에 입력하는 것만으로, 현재 주기에서 타겟 지점 상을 흐르는 이상유동의 종류(형태)를 빠르고 정확하게 분류해낼 수 있다.
- [0095] 이하에서는 현재 수평관(1)의 타겟 지점 상에서 측정된 시간에 따른 속도 값으로부터 특징을 추출하고 이를 학습된 모델에 입력하여 이상 유동의 종류를 분류하는 동작을 설명한다.
- [0096] 우선, 속도 데이터 획득부(130)는 이상유동 유체가 수평관(1)을 이동하는 동안, 센서(10)를 통해 수평관(1) 내부의 타겟 지점 상에서의 액체의 시간별 속도값을 획득한다(S630).
- [0097] 시간별 속도 데이터의 크기와 양상은 앞서 도 7을 통해 설명한 바와 같이 해당 타겟 지점에 발생한 이상유동의 형태(종류)에 따라 달라질 수 있다.
- [0098] 이후, 특징 연산부(140)는 수평관(1)에 공급되는 기체와 액체의 현재 겉보기 속도와 타겟 지점 상에서 계측된 액체의 시계열 속도값을 이용하여, 타겟 지점을 지나는 액체에 대한 복수의 속도 특징(최대 속도비, 최대 속도 차이비)을 가공한다(S640).
- [0099] 시계열 속도로부터 최대 속도비와 최대 속도 차이비를 연산하는 방법은 앞서 수학식 1과 수학식 2를 통해 설명한 바 있다.
- [0100] 다음, 이상유동 판별부(150)는 현재 주기에서 산출된 복수의 속도 특징을 S630 단계를 통해 기 학습된 머신 러닝 알고리즘에 입력하여, 타겟 지점에 대한 이상유동의 형태를 층상 유동, 플러그 유동, 슬러그 유동 및 쇄퇴 슬러그 유동 중 어느 하나로 분류하게 된다(S650).
- [0101] 다음, 출력부(160)는 분류 결과를 출력하여 제공한다(S660). 이와 같이, 머신 러닝 알고리즘은 입력되는 특징 정보들로부터 그에 대응된 분류 결과를 출력해낼 수 있다.
- [0102] 이때, 출력부(160)는 매 주기마다 분류되는 결과를 실시간 디스플레이 화면을 통해 출력하여 제공할 수 있다. 물론 출력부(160)는 분류 결과를 유무선 네트워크 연결된 관리자 단말(미도시)로 전송할 수 있으며 슬러그 유동의 지속과 관련된 경보를 제공할 수도 있다.
- [0103] 표 1은 본 발명의 실시예를 이용한 분류 기법에 대한 훈련 및 테스트 정확도를 관측한 결과이다. 이때 머신 러닝 알고리즘으로 KNN, SVM, Decision Tree를 각각 사용하고 그 결과를 비교하였다.
- [0104] 그 결과 훈련 데이터를 통한 훈련 정확도는 모두 100%인 반면 테스트 데이터를 사용한 결과 SVM 모델의 경우 테스트 정확도는 90.2%에 불과한 것으로 나타났다.

표 1

Classification algorithm	Training accuracy	Testing accuracy
Decision tree	100%	97.6%
K nearest neighbor	100%	97.6%
Support vector machine	100%	90.2%

- [0106] 여기에 평균 속도를 추가로 기계 학습에 활용할 경우에 아래 표 2와 같이 머신 러닝 알고리즘의 분류 정확도를 더욱 높일 수 있는 것으로 나타났다.

표 2

Classification algorithm	Training accuracy	Testing accuracy
Decision tree	100%	97.6%
K nearest neighbor	100%	100%
Support vector machine	100%	100%

[0108] 이상과 같은 본 발명에 따르면, 수평관 내의 타겟 지점에서 계측된 액체의 시계열 속도값을 기초로 액체의 속도 특징들을 산출하고 산출한 특징들을 머신 러닝 알고리즘에 적용하여 해당 지점을 흐르는 이상유동의 종류(형태)를 층상 유동, 플러그 유동, 슬러그 유동, 쇄퇴 슬러그 유동 중 어느 하나로 정확하게 분류할 수 있다.

[0109] 특히, 본 발명의 경우, 해당 지점에 대한 액상의 최대 속도비는 물론 최대 속도 차이비를 기계 학습의 특징 값으로 활용함으로써, 최대 속도비 만으로는 분별이 어려운 플러그 유동과 쇄퇴 슬러그 유동을 서로 명확히 구분할 수 있다. 또한 액체의 평균 속도를 추가적인 특징으로 활용할 경우 머신 러닝 알고리즘의 분류 정확도를 더욱 높일 수 있다.

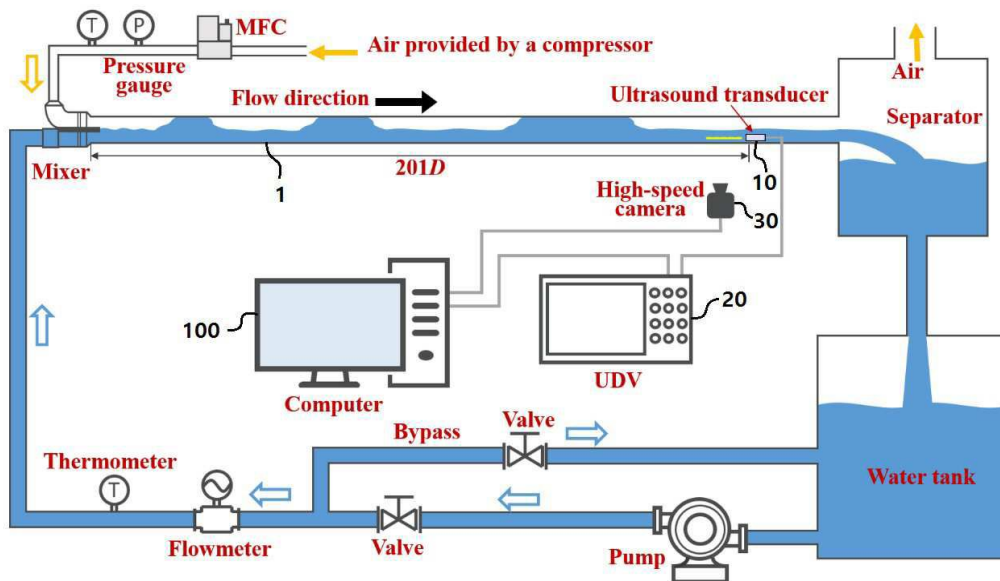
[0110] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

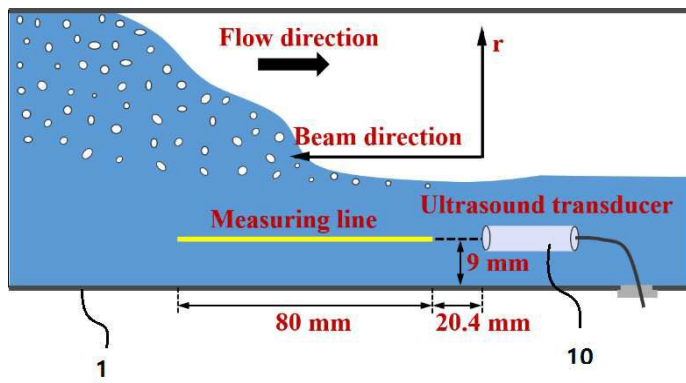
[0111] 100: 이상유동의 종류 판별 장치
110: 데이터 수집부 120: 학습부
130: 속도 데이터 획득부 140: 특징 연산부
150: 이상유동 판별부 160: 출력부

도면

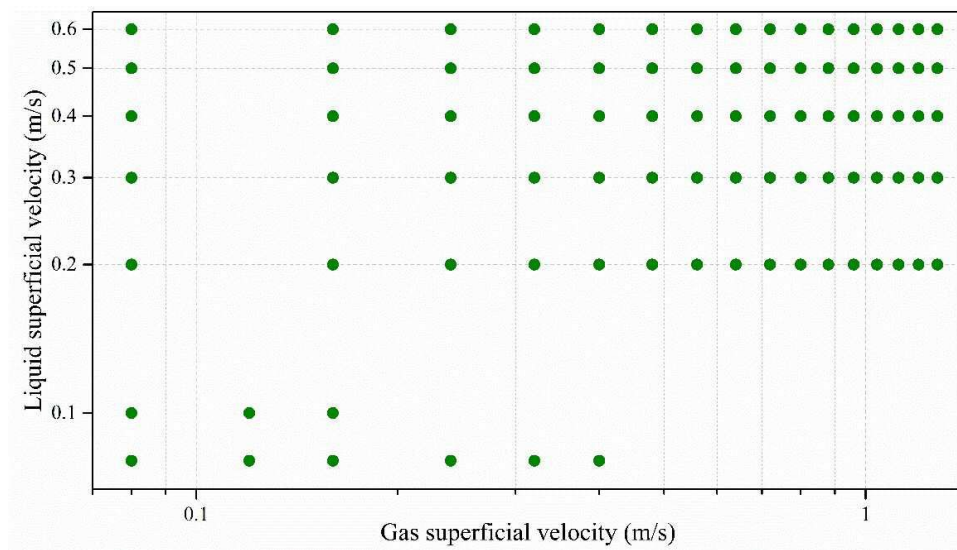
도면1



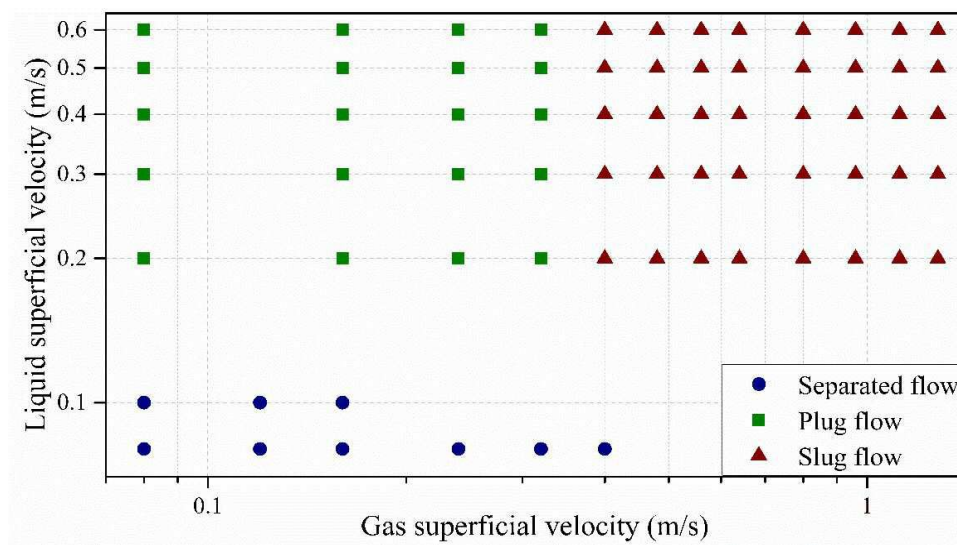
도면2



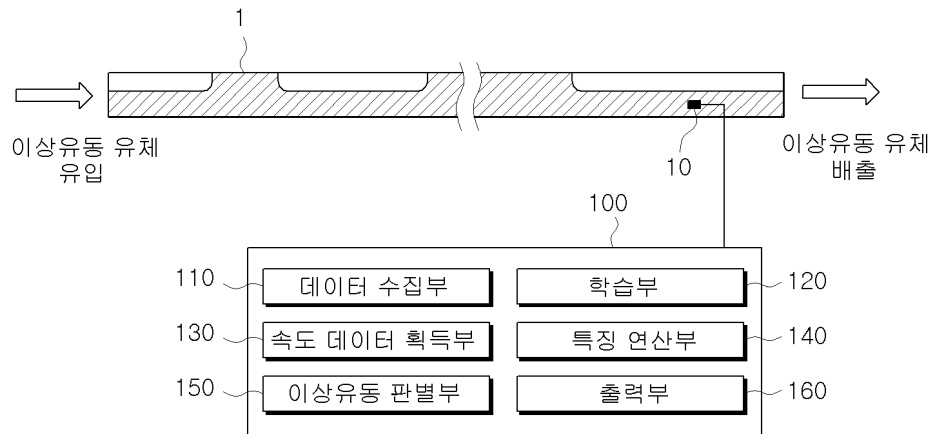
도면3



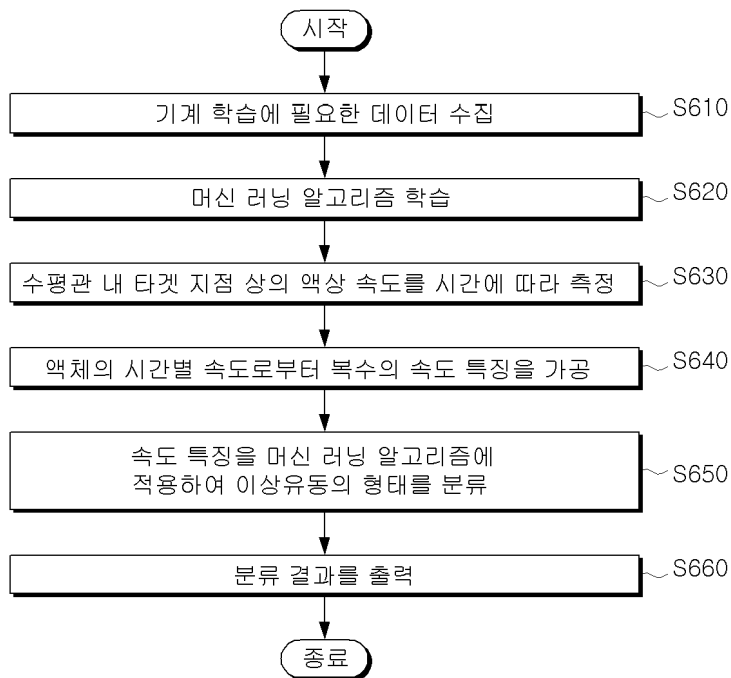
도면4



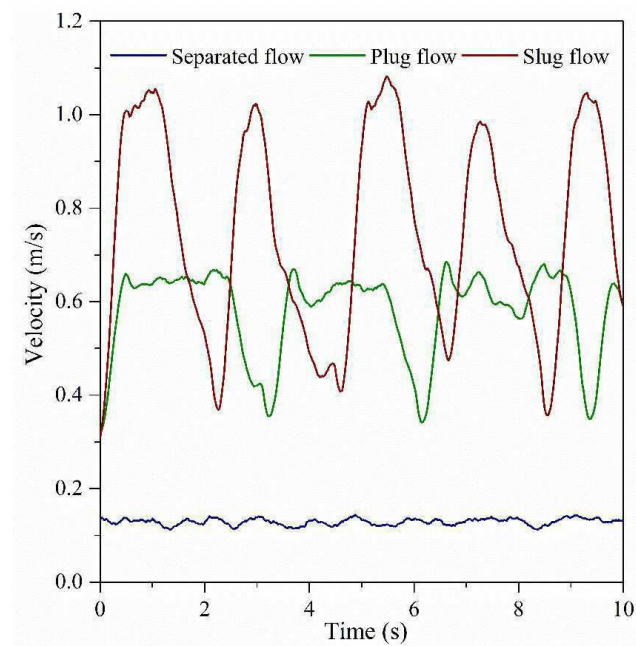
도면5



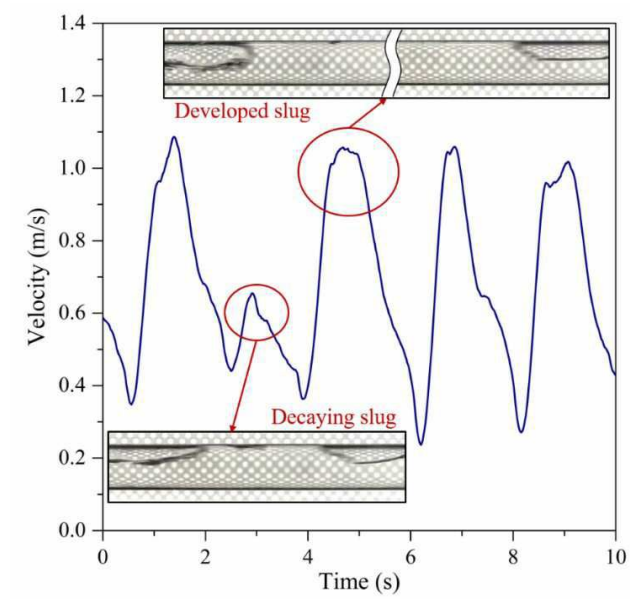
도면6



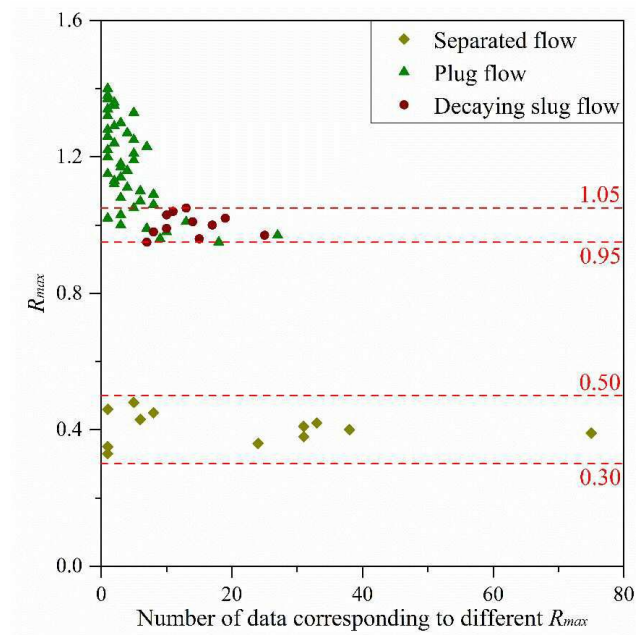
도면7



도면8



도면9



도면10

