



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0171279
(43) 공개일자 2024년12월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 30/18 (2020.01) G06F 111/12 (2020.01)
G06F 111/20 (2020.01) G06F 113/14 (2020.01)
G06F 30/27 (2020.01) G06N 3/0464 (2023.01)
G06N 3/08 (2023.01) G06V 30/413 (2022.01)
G06V 30/422 (2022.01)

(52) CPC특허분류

G06F 30/18 (2020.01)
G06F 30/27 (2020.01)

(21) 출원번호 10-2023-0068941

(22) 출원일자 2023년05월30일

심사청구일자 2023년05월30일

(71) 출원인

한국기술교육대학교 산학협력단

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한국기술교육대학교내)

(72) 발명자

김병철

세종특별자치시 달빛로 211 범지기마을10단지 1012-101

(74) 대리인

특허법인(유한) 대아

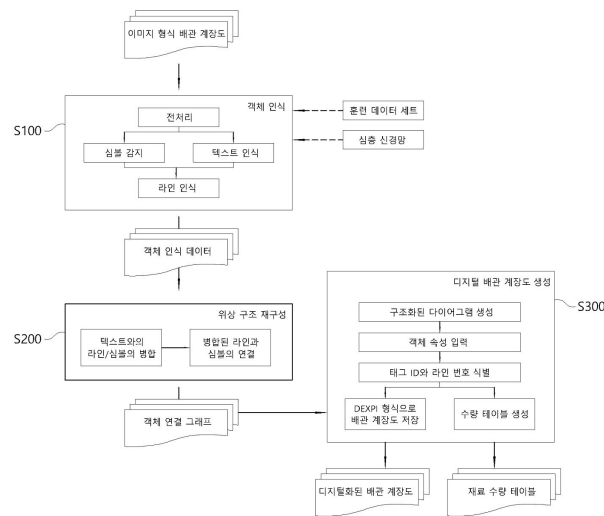
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법

(57) 요약

본 발명은 인식된 객체인 심볼과 텍스트 및 라인 간의 연결관계를 식별하는 객체 연결관계 식별 단계, 객체를 노드로 표현하여 그래프 데이터 상에 나타낸 후, 노드 간 연결관계 존재 시 노드를 연결하는 간선을 추가하는 위상 구조 그래프 표현 단계, 객체 인식 데이터 전처리 스텝과 제1,2 간선 추가 스텝으로 이루어지는 연관관계 그래프 생성 단계 및 그래프에 추가적인 처리를 수행하는 그래프 정제 단계로 구성되는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06N 3/0464 (2023.01)
G06N 3/08 (2023.01)
G06V 30/412 (2022.01)
G06V 30/413 (2022.01)
G06V 30/422 (2022.01)
G06F 2111/12 (2020.01)
G06F 2111/20 (2020.01)
G06F 2113/14 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1055001117
과제번호	00143813
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	탄소저감모델연계디지털엔지니어링설계기술개발
연구과제명	AI 기반 엔지니어링 설계정보 디지털 변환 · 추출 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(주)위세아이텍
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

딥러닝을 기반으로, 이미지 형식 배관 계장도(Piping and Instrumentation Diagram, P&ID)로부터 심볼(symbol)과 라인 및 텍스트를 포함하는 객체를 인식하는 과정(S100)과, 인식된 객체간 상호 위치를 기반으로 객체를 서로 연결하여 위상 구조를 재구성하는 과정(S200)과, 각 객체에 속성 및 사양 정보를 입력하는 속성 부가 과정(S300)을 거쳐 배관 계장도의 디지털화를 수행하되,

위상 구조를 재구성하는 과정(S200)은,

객체를 인식하는 과정(S100)에서 생성된 객체 인식 데이터(object detection data)를 이용하여 인식된 객체인 심볼과 텍스트 및 라인 간의 연결관계를 식별하는 객체 연결관계 식별 단계(S210);

심볼과 텍스트 및 라인을 모두 노드(node)로 표현하여 그래프(graph) 데이터 상에 나타낸 후, 그래프 데이터에 나타낸 노드 간에 연결관계 존재 시, 해당 노드 사이에 각 노드를 연결하는 간선(edge)을 추가하는 위상(topology) 구조 그래프 표현 단계(S220);

객체 인식 데이터를 전처리하는 객체 인식 데이터 전처리 스텝(S231)과,

텍스트와 심볼, 또는 텍스트와 라인간 연관 관계를 찾아 간선을 추가하는 제1 간선 추가 스텝(S232)과,

심볼과 라인들의 연결관계를 찾아 간선을 추가하는 제2 간선 추가 스텝(S233)으로 이루어지는 연관관계 그래프 생성 단계(S230);

그래프에 추가적인 처리를 수행하는 그래프 정제 단계(S240);

로 구성되는 것을 특징으로 하는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

객체 연결관계 식별 단계(S210)에서는, 심볼의 연결관계 식별은 기기(equipment)나 배관 요소(piping component) 또는 계기(instrument)로 구분된 타입(type) 정보를 이용하는 것을 특징으로 하는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

심볼의 연결관계 식별 시 심볼의 형상을 고려하지 않고, 경계상자(bounding box)의 위치와 크기 및 회전 방향 정보만을 이용하는 것을 특징으로 하는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

객체 인식 데이터 전처리 스텝(S231)의 전처리는,

중복되는 라인 및 심볼을 하나로 병합 처리와,

라인이 서로 교차하는 경우, 라인간 교차점을 기준으로 라인을 분할하고, 짧은 라인을 제거하는 처리와,

라인의 일단이 텍스트를 제외한 심볼에 포함된 경우, 심볼에 포함되는 라인 부분을 제거하는 처리와,

라인이 심볼을 관통하는 경우, 심볼을 기준으로 라인을 분할하는 처리

로 이루어지는 것을 특징으로 하는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

제1 간선 추가 스텝(S232)에서는,

텍스트가 하나의 심볼에만 포함되며, 텍스트 경계상자와 심볼 경계상자간 중첩되는 부분의 비율이 텍스트 경계상자 면적 대비 설정된 비율 이상으로 형성된 경우 완전 포함으로 처리하거나,

텍스트가 하나의 라인에 포함되되, 라인이 텍스트 경계상자를 관통하고 텍스트와 라인 상호간 방향이 동일하며 텍스트 너비가 라인 너비에 포함되는 경우 완전 포함으로 처리하거나,

텍스트가 하나의 심볼에만 포함되지 않거나, 또는 텍스트가 하나의 라인에 포함되지 않은 경우로서, 텍스트가 하나의 심볼과 경계상자 면적이 50% 이상 중첩되고, 텍스트의 너비 또는 높이가 심볼의 너비 또는 높이에 완전히 포함되는 경우 완전 포함으로 처리

하는 것을 특징으로 하는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

제1 간선 추가 스텝(S232)에서 텍스트와 심볼 또는 텍스트와 라인간 연관 관계가 불명확한 경우, 텍스트를 가장 가깝게 배치된 심볼 또는 라인으로 연결하는 것을 특징으로 하는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

제2 간선 추가 스텝(S233)에서는,

두 라인의 끝점간 거리가 설정된 범위 내에 형성된 경우, 라인 사이에 간선을 추가하거나,

라인의 끝점과 심볼 경계상자간 거리가 설정된 범위 내에 형성된 경우, 라인과 심볼 사이에 간선을 추가하거나,

두 심볼의 경계상자간 거리가 설정된 범위 내에 형성된 경우, 심볼 사이에 간선을 추가하는 것을 특징으로 하는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

그래프 정제 단계(S240)는,

세 개 이상의 근접 배치된 심볼이 형성하는 사이클을 제거하는 사이클 제거 스텝(S241)과,

분기(branch)를 형성하는 부분을 찾아 배관 요소를 추가하는 배관 요소 추가 스텝(S242)과,

서로 연결된 다수의 라인을 하나로 병합하는 라인 병합 스텝(S243)과,

간선으로 연결된 라인과 기기(equipment) 심볼 사이에 노즐(nozzle)을 추가하는 노즐 추가 스텝(S244)과,

라인의 클래스를 결정하는 라인 클래스 결정 스텝(S245)과,

라인간 연결관계를 고려하여 라인을 연결된 순서대로 정렬하는 라인 정렬 스텝(S246)으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

사이클 제거 스텝(S241)에서는, 깊이 우선 탐색(depth-first search)을 통해 사이클을 검색하며, 사이클을 형성하는 노드 중 가장 거리가 먼 두 노드 간의 간선을 제거함으로써 수행되는 것을 특징으로 하는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

배관 요소 추가 스텝(S242)에서는,

분기를 형성하는 라인들간 간선 연결과,

분기 기능을 가지는 배관 요소 신규 추가와,

추가된 배관 요소 및 분기의 모든 라인간 간선 연결이 이루어지는 것을 특징으로 하는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법.

청구항 11

제8항에 있어서,

라인 클래스 결정 스텝(S245)에서는,

배관 요소와 배관 요소를 서로 연결하는 라인, 기기(equipment)나 노즐에 연결되는 라인을 배관(piping line)으로 인식하며,

오퍼레이터 클래스(operator class)의 계기(instrument)에 연결되는 라인, 계기와 계기를 서로 연결하는 라인, 계기와 배관 요소를 연결하는 라인을 신호선(signal line)으로 인식하는 것을 특징으로 하는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 딥러닝 및 이미지 처리를 통해 이미지 형식으로 이루어진 원본 도면에 포함된 심볼과 라인 및 텍스트를 인식하여, 디지털 도면을 자동으로 형성하는 배관 계장도의 디지털화 기술에 관한 것으로, 보다 상세하게는 인식된 객체인 심볼과 텍스트 및 라인 간의 연결관계를 식별하는 객체 연결관계 식별 단계, 객체를 노드로 표현하여 그래프 데이터 상에 나타낸 후, 노드 간 연결관계 존재 시 노드를 연결하는 간선을 추가하는 위상 구조 그래프 표현 단계, 객체 인식 데이터 전처리 스텝과 제1,2 간선 추가 스텝으로 이루어지는 연관관계 그래프 생성 단계 및 그래프에 추가적인 처리를 수행하는 그래프 정제 단계로 구성되는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 배관 계장도(Piping and Instrumentation Diagram, P&ID)는 공정 플랜트 산업에서 플랜트의 기본 설계를 위해 공정 장비, 공정 제어에 사용되는 기기, 유체 및 제어 신호의 흐름간 상호 연결을 나타낸다.

[0003] 배관 계장도는 다이어그램(diagram)의 모든 객체가 구조화되고 컴퓨터에 의해 처리될 수 있도록 디지털화(digitalization)되어, 3D CAD(Computer Aided Design) 모델과 함께 플랜트의 세부 설계, 구매 및 조달, 건설 및 시운전을 위한 마스터 데이터로 활용된다.

[0004] 디지털 배관 계장도의 주요 구성 요소는 심볼(symbol)이며, 심볼은 크게 배관(pipe), 피팅(fitting), 기기(equipment), 전계장(electric and measuring instrument) 및 다이어그램 참조(off-page connector, OPC)로 구분되고, 디지털 배관 계장도의 심볼들을 서로 연결하는 라인(line)이 포함된다.

[0005] 라인은 배관 라인(piping line)과 시그널 라인(signal line)으로 구분되며, 심볼과 라인 이외에 외곽 경계(outer border)와 표제(title box)와 문자(character) 및 표(table) 등이 디지털 배관 계장도에 포함된다.

[0006] 플랜트의 설계와 조달 및 시공을 담당하는 EPC(Engineering, Procurement and Construction) 업체의 경우 대부

본 디지털 배관 계장도를 사용하고 있지만, 신규로 건설되는 플랜트에서 FEED(front end engineering and design company) 업체가 생성한 배관 계장도나, 기기 제작업체(equipment manufacturer)가 제공하는 배관 계장도는 계약 관계 또는 지적재산 보안 이슈로 인해 주로 이미지 형식(image format)으로 이루어지게 된다.

- [0007] 배관 계장도는 설계 변경이나 검사, 기기 및 배관 관련 보고서 산출, 플랜트 운영 및 유지보수 정보 제공 등을 포함하는 플랜트 건설 프로젝트 전반에 걸쳐 다양한 용도로 사용되고 있으나, 이미지 형식의 배관 계장도는 디지털화된 배관 계장도와는 달리 배관 계장도 상에 속성(attribute) 및 사양(specification) 정보를 포함하고 있지 않으므로, 활용도가 크게 제한되는 문제를 가지고 있었다.
- [0008] 특히, 플랜트 운영 업체(plant operator)에서 장기간 운영 중인 플랜트의 경우 대량의 배관 계장도가 이미지 형식으로 저장되어 있으며, 플랜트 운영 과정에서 지속적으로 플랜트의 개선 및 확장을 위해 외부 협력사로부터 이미지 형식의 배관 계장도를 받을 수 있어, 이들 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화 작업을 필요로 한다.
- [0009] 기존에는 이미지 형식의 배관 계장도를 디지털화는 작업자의 수작업을 통해 디지털 배관 계장도를 재모델링 하는 방식으로 이루어졌으며, 이로 인하여 이미지 형식의 배관 계장도 생성 작업에 많은 시간이 소요되었으며, 작업자의 숙련도에 따라 오류 발생 등 배관 계장도의 품질의 차이가 형성되는 단점이 있었다.
- [0010] 따라서 대한민국 등록특허공보 제10-2361118호(2022.02.07.등록)에서는, 이미지 형식의 배관 계장도로부터 지능형 엔지니어링 도면(intelligent engineering drawing)을 자동으로 생성하여 디지털화하는 방법으로서, 딥러닝 기반 지능형 엔지니어링 도면 생성방법 및 장치를 제안하고 있다.
- [0011] 위의 등록특허는 딥러닝(deep learning) 및 영상처리(image processing) 기술을 기반으로 이미지 형식의 배관 계장도로부터 배관 계장도에 표현된 객체(object)인 심볼과 텍스트(text) 및 라인을 바운딩 박스(bounding box)에 포함하여 독립적으로 인식하고, 인식된 객체간 상호 위치를 기반으로 객체를 서로 연결하여 위상 구조(topology)를 재구성하며, 재구성된 위상 구조의 각 객체에 속성 및 사양 정보를 입력하여 속성을 부가함으로써, 이미지 형식의 배관 계장도를 자동으로 디지털화한다.
- [0012] 딥러닝 기반 지능형 엔지니어링 도면 생성 방법에서 위상 구조의 재구성 중 발생한 오류의 예시는 다음과 같다.
- [0013] 도 1a에서는 심볼 사이의 거리가 짧게 형성되어, 심볼 사이에 연결관계가 추가되었고, 도 1b에서는 텍스트가 좌측으로 치우치면서 배관 라인 대신 심볼에 연결되었으며, 도 1c에서는 심볼과 라인이 서로 이격되면서 우측의 심볼에 연결되어야 하는 라인의 화살표가 심볼과 연결되지 못하였다.
- [0014] 위와 같이 위상 구조의 재구성 과정에서 발생한 오류는 디지털화가 완료된 배관 계장도에 포함된 객체간 크기나 위치 관계의 정밀도 및 재현도를 크게 저하시키므로, 딥러닝을 기반으로 하는 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화에서는 객체의 위상 재구성 시 발생하는 오류를 감소시키는 것이 매우 중요하며, 보다 향상된 정밀도 및 재현도를 가지는 객체의 위상 재구성 과정을 제공할 필요가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0015] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-2361118호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0016] 본 발명에서는 딥러닝을 기반으로 하는 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화 수행 시, 위상 구조의 재구성 과정에서 발생하는 오류를 최소화하여, 디지털화된 배관 계장도의 정밀도 및 재현도를 향상시키는 객체의 위상 재구성 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0017] 본 발명에 따른 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도(Piping and Instrumentation Diagram, P&ID)의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법은, 이미지 형식 배관 계장도로부터 심볼(symbol)과 라인 및 텍스트를 포함하는 객체를 인식하는 과정과, 인식된 객체간 상호 위치를 기반으로 객체를 서로 연결하여 위상 구조를 재구성하

는 과정과, 각 객체에 속성 및 사양 정보를 입력하는 속성 부가 과정을 거쳐 배관 계장도의 디지털화를 수행하
되, 위상 구조를 재구성하는 과정은, 객체를 인식하는 과정에서 생성된 객체 인식 데이터(object detection
data)를 이용하여 인식된 객체인 심볼과 텍스트 및 라인 간의 연결관계를 식별하는 객체 연결관계 식별 단계;
심볼과 텍스트 및 라인을 모두 노드(node)로 표현하여 그래프(graph) 데이터 상에 나타낸 후, 그래프 데이터에
나타낸 노드 간에 연결관계 존재 시, 해당 노드 사이에 각 노드를 연결하는 간선(edge)을 추가하는 위상
(topology) 구조 그래프 표현 단계; 객체 인식 데이터를 전처리하는 객체 인식 데이터 전처리 스텝과, 텍스트와
심볼, 또는 텍스트와 라인간 연관 관계를 찾아 간선을 추가하는 제1 간선 추가 스텝과, 심볼과 라인들의 연결관
계를 찾아 간선을 추가하는 제2 간선 추가 스텝으로 이루어지는 연관관계 그래프 생성 단계; 그래프에 추가적인
처리를 수행하는 그래프 정제 단계;로 구성된다.

[0018] 본 발명의 실시 예에 따르면 객체 연결관계 식별 단계에서는, 심볼의 연결관계 식별은 기기(equipment)나 배관
요소(piping component) 또는 계기(instrument)로 구분된 타입(type) 정보를 이용한다.

[0019] 본 발명의 실시 예에 따르면 심볼의 연결관계 식별 시 심볼의 형상을 고려하지 않고, 경계상자(bounding box)의
위치와 크기 및 회전 방향 정보 만을 이용한다.

[0020] 본 발명의 실시 예에 따르면 객체 인식 데이터 전처리 스텝(S231)의 전처리는, 중복되는 라인 및 심볼을 하나로
병합 처리와, 라인이 서로 교차하는 경우, 라인간 교차점을 기준으로 라인을 분할하고, 짧은 라인을 제거하는
처리와, 라인의 일단이 텍스트를 제외한 심볼에 포함된 경우, 심볼에 포함되는 라인 부분을 제거하는 처리와,
라인이 심볼을 관통하는 경우, 심볼을 기준으로 라인을 분할하는 처리로 이루어진다.

[0021] 본 발명의 실시 예에 따르면 제1 간선 추가 스텝에서는, 텍스트가 하나의 심볼에만 포함되며, 텍스트 경계상자
와 심볼 경계상자간 중첩되는 부분의 비율이 텍스트 경계상자 면적 대비 설정된 비율 이상으로 형성된 경우 완
전 포함으로 처리하거나, 텍스트가 하나의 라인에 포함되되, 라인이 텍스트 경계상자를 관통하고 텍스트와 라인
상호간 방향이 동일하며 텍스트 너비가 라인 너비에 포함되는 경우 완전 포함으로 처리하거나, 텍스트가 하나의
심볼에만 포함되지 않거나, 또는 텍스트가 하나의 라인에 포함되지 않은 경우로서, 텍스트가 하나의 심볼과 경
계상자 면적이 50% 이상 중첩되고, 텍스트의 너비 또는 높이가 심볼의 너비 또는 높이에 완전히 포함되는 경우
완전 포함으로 처리한다.

[0022] 본 발명의 실시 예에 따르면 제1 간선 추가 스텝에서 텍스트와 심볼 또는 텍스트와 라인간 연관 관계가 불명확
하면, 텍스트를 가장 가깝게 배치된 심볼 또는 라인으로 연결한다.

[0023] 본 발명의 실시 예에 따르면 제2 간선 추가 스텝에서는, 두 라인의 끝점간 거리가 설정된 범위 내에 형성된 경
우, 라인 사이에 간선을 추가하거나, 라인의 끝점과 심볼 경계상자간 거리가 설정된 범위 내에 형성된 경우, 라
인과 심볼 사이에 간선을 추가하거나, 두 심볼의 경계상자간 거리가 설정된 범위 내에 형성된 경우, 심볼 사이
에 간선을 추가한다.

[0024] 본 발명의 실시 예에 따르면 그래프 정제 단계는, 세 개 이상의 근접 배치된 심볼이 형성하는 사이클을 제거하
는 사이클 제거 스텝과, 분기(branch)를 형성하는 부분을 찾아 배관 요소를 추가하는 배관 요소 추가 스텝과,
서로 연결된 다수의 라인을 하나로 병합하는 라인 병합 스텝과, 간선으로 연결된 라인과 기기(equipment) 심볼
사이에 노즐(nozzle)을 추가하는 노즐 추가 스텝과, 라인의 클래스를 결정하는 라인 클래스 결정 스텝과, 라인
간 연결관계를 고려하여 라인을 연결된 순서대로 정렬하는 라인 정렬 스텝으로 이루어진다.

[0025] 본 발명의 실시 예에 따르면 사이클 제거 스텝에서는, 깊이 우선 탐색(depth-first search)을 통해 사이클을 검
색하며, 사이클을 형성하는 노드 중 가장 거리가 먼 두 노드 간의 간선을 제거함으로써 수행한다.

[0026] 본 발명의 실시 예에 따르면 배관 요소 추가 스텝에서는, 분기를 형성하는 라인들간 간선 연결과, 분기 기능을
가지는 배관 요소 신규 추가와, 추가된 배관 요소 및 분기의 모든 라인간 간선 연결이 이루어진다.

[0027] 본 발명의 실시 예에 따르면 라인 클래스 결정 스텝에서는, 배관 요소와 배관 요소를 서로 연결하는 라인, 기기
(equipment)나 노즐에 연결되는 라인을 배관(piping line)으로 인식하며, 오퍼레이터 클래스(operator class)
의 계기(instrument)에 연결되는 라인, 계기와 계기를 서로 연결하는 라인, 계기와 배관 요소를 연결하는 라인
을 신호선(signal line)으로 인식한다.

발명의 효과

[0028] 본 발명에 따르면 딥러닝을 기반으로 하는 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화 수행 시, 심볼과 텍스트 및 라

인 등의 객체간 연결관계 식별하여 위상 구조 그래프로 표현한 후, 객체 인식 데이터를 전처리와 간선을 추가하여 연관관계 그래프를 생성한 다음, 그래프를 정제하여 위상 구조를 재구성함으로써, 위상 구조의 재구성 과정에서 발생하는 오류를 최소화하여, 디지털화가 완료된 배관 계장도의 정밀도 및 재현도를 향상키는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1은 딥러닝 기반 지능형 엔지니어링 도면 생성 시, 위상 구조의 재구성 중 발생한 오류에 의해 형성된 그래프와 원본 배관 계장도를 서로 비교하는 도면이다.
- 도 2는 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화 진행 과정을 나타내는 도면이다.
- 도 3은 위상 구조 재구성에 의해 생성된 그래프와, 최종 생성된 디지털 배관 계장도를 비교하는 도면이다.
- 도 4는 객체 연결관계 식별 단계에서 객체간 연결관계를 식별할 때, 객체 인식 데이터에 포함되는 정보의 종류를 나타내는 도면이다.
- 도 5는 경계상자로 표현되는 배관 계장도의 예시를 나타내는 도면이다.
- 도 6은 도 5에 따른 배관 계장도의 그래프 표현을 나타내는 도면이다.
- 도 7은 객체 인식 데이터 전처리 스텝에 따른 처리 방법의 예시를 나타내는 도면이다.
- 도 8은 제1 간선 추가 스텝에서 텍스트와 심볼, 또는 텍스트와 라인간 연관 관계를 찾아 간선을 추가할 때 형성된 연관관계의 예시를 나타내는 도면이다.
- 도 9는 텍스트와 심볼 또는 텍스트와 라인간 연관 관계가 불명확할 때, 텍스트 경계상자의 각 모서리 중심에서 좌표축을 따라 광선(ray)을 조사하여, 텍스트를 가장 가깝게 배치된 심볼 또는 라인으로 연결하는 방법의 예시를 나타내는 도면이다.
- 도 10은 그래프 정제 단계에서, 사이클 제거 스텝이나 배관 요소 추가 스텝 또는 라인 병합 스텝에 따른 그래프 정제의 예시를 나타내는 도면이다.
- 도 11은 이미지 형식 배관 계장도와, 해당 배관 계장도로부터 인식된 객체의 위상 구조 재구성 결과 생성된 그래프를 나타내는 도면이다.
- 도 12 내지 도 16은 위상 구조 재구성 과정의 정밀도 및 재현도를 검증하기 위한 이미지 형식 배관 계장도의 테스트 예 1 내지 5의 원본 도면을 나타낸다.
- 도 17은, 도 12 내지 도 16의 이미지 형식 배관 계장도의 테스트 예 1 내지 5의 원본 도면에 포함된 심볼과 텍스트 및 라인의 개수를 나타내는 테이블이다.
- 도 18 내지 도 22는 테스트 실시 예 1 내지 5의 이미지 형식 배관 계장도 일부분과, 해당 부분의 위상 구조 재구성 완료 전의 그래프 및 위상 구조 재구성 완료 후의 그래프를 각각 나타내는 도면이다.
- 도 23은 테스트 실시 예 1 내지 5의 위상 구조 재구성 결과, 측정된 정밀도 및 재현도 결과를 나타내는 테이블이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 설명한다.
- [0031] 본 발명에 따른 동작 및 작용을 이해하는 데 필요한 부분을 중심으로 상세히 설명한다.
- [0032] 본 발명의 실시 예를 설명하면서, 본 발명이 속하는 기술 분야에 익히 알려졌고 본 발명과 직접적으로 관련이 없는 기술 내용에 대해서는 설명을 생략한다.
- [0033] 이는 불필요한 설명을 생략함으로써 본 발명의 요지를 흐리지 않고 더욱 명확히 전달하기 위함이다.
- [0034] 또한, 본 발명의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 동일한 명칭의 구성 요소에 대하여 도면에 따라 다른 참조부호를 부여할 수도 있으며, 서로 다른 도면임에도 동일한 참조부호를 부여할 수도 있다.

- [0035] 그러나 이와 같은 경우라 하더라도 해당 구성 요소가 실시 예에 따라 서로 다른 기능을 갖는다는 것을 의미하거나, 서로 다른 실시 예에서 동일한 기능을 갖는다는 것을 의미하는 것은 아니며, 각각의 구성 요소의 기능은 해당 실시 예에서의 각각의 구성 요소에 대한 설명에 기초하여 판단하여야 할 것이다.
- [0036] 또한, 본 명세서에서 사용되는 기술적 용어는 본 명세서에서 특별히 다른 의미로 정의되지 않는 한 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 일반적으로 이해되는 의미로 해석되어야 하며, 과도하게 포괄적인 의미로 해석되거나, 과도하게 축소된 의미로 해석되지 않아야 한다.
- [0037] 또한, 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0038] 본 출원에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 여러 구성요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.
- [0040] 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화(digitalization)는, 이미지 형식(image format)으로 이루어진 배관 계장도(Piping and Instrumentation Diagram, P&ID)로부터, 배관 계장도에 포함된 심볼(symbol)과 텍스트(text) 및 라인(line) 등 배관 계장도에 포함된 각종 객체를 자동으로 인식하여, 배관 계장도를 디지털화하는 기술이다.
- [0041] 배관 계장도의 디지털화는, 도 2에서 도시하는 바와 같이 객체 인식 과정(S100)과, 위상 구조 재구성 과정(S200) 및 속성 부가 과정(S300)으로 이루어진다.
- [0042] 객체 인식 과정(S100)에서는 이미지 형식의 배관 계장도로부터 심볼과 라인 및 텍스트를 포함하는 객체(object)를 인식하며, 객체 검출 성능을 향상시키기 위하여 입력되는 배관 계장도 이미지 데이터의 전처리(image processing)가 이루어진다.
- [0043] 이때, 배관 계장도 이미지 데이터 상에 객체간의 간섭이 포함되거나, 객체 형상의 부분적 변형이 이루어지거나, 또는 반점 등의 노이즈가 포함되는 경우, 객체 인식 성공률이 저하될 수 있으므로, 객체 인식 과정(S100)에서는 컨볼루션 신경망(Convolutional Neural Network, CNN) 아키텍처를 이용하는 딥러닝(deep learning)을 통해, 주어진 데이터로부터 객체의 특징을 추출하는 방법을 학습하도록 하여, 객체 검출 성능을 보다 향상시키게 된다.
- [0044] 객체 인식 과정(S100)을 통해 이미지 형식의 배관 계장도로부터 검출된 객체 인식 데이터를 구성하는 심볼이나 텍스트 또는 라인 등의 각 객체들 사이에는 상호간 연결관계를 포함하지 않기 때문에, 위상 구조(topology) 재구성 과정(S200)에서는 각 객체간 상호 위치를 기반으로 하여 객체를 서로 연결하여 객체 연결 그래프를 형성하게 된다.
- [0045] 속성 부가 과정(S300)은, 디지털 배관 계장도를 표현하기 위해 필요한 심볼의 기하학적 표현, 라인의 선 스타일 지정, 텍스트의 폰트 스타일, 외곽 경계(outer border) 및 표제(title box), 카탈로그 정의 및 참조, 심볼과 라인의 일반 속성, 외부 참조 데이터 식별, 심볼과 라인 사이의 연결 정보 표현 등, 각 객체에 속성 및 사양 정보의 입력이 이루어짐으로써, 디지털 배관 계장도의 데이터 모델을 정의한다.
- [0046] 속성 부가 과정(S300)에서, 배관 계장도 생성기는 위상 구조 재구성 과정(S200)에서 형성된 객체 연결 그래프를 가져와 심볼과 텍스트 및 라인을 생성한 후 2D 카탈로그에 정의된 기호 및 선의 위치에 따라 배치하며, 각 객체에 입력된 속성 및 사양 정보에 따라 심볼 또는 라인의 경계상자(bounding box)에 맞춰 위치와 크기 및 회전 방향이 조정된다.
- [0047] 또한, 디지털 배관 계장도의 각 객체에는 플랜트 항목(심볼 또는 라인)을 식별하고 관리하기 위하여 ID가 할당되어야 하며, 위상 구조 재구성 과정(S200)의 객체 연결 그래프에는 심볼 또는 라인이 텍스트에 통합되지만 플랜트 항목의 ID가 결정되지 않으므로, 속성 부가 과정(S300)에서 심볼 또는 라인과 통합된 텍스트에 ID가 할당한다.
- [0048] 이후, 할당된 ID를 통해 DEXPI(Data Exchange in the Process Industry) 형식으로 배관 계장도를 저장하여 디지털 배관 계장도를 생성한다.
- [0049] 본 발명에 따른 딥러닝 기반 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화를 위한 객체의 위상 재구성 방법은, 위와 같이 구성되는 이미지 형식 배관 계장도의 디지털화 과정에서, 객체 인식 과정(S100)에서 인식된 객체 인식 데이터를 이용하여 심볼과 라인 및 텍스트간 연결관계를 식별하는 위상 구조 재구성 과정(S200)의 구성에 관한 것이

다.

- [0050] 위상 구조 재구성 과정(S200)에서 생성된 데이터와, 속성 부가 과정(S300) 완료 후 생성된 디지털 배관 계장도 데이터의 차이점을 비교하면 아래와 같으며, 도 3에서는 재구성된 위상 구조와 디지털 배관 계장도의 예시를 나타낸다.
- [0052] 1. 재구성된 위상 구조:
- [0053] - 경계상자와, 심볼이나 텍스트 또는 라인으로 이루어지는 객체의 타입(type) 데이터로 구성
- [0054] - 통합 정보와 일부 속성 데이터가 포함
- [0055] - 연결 정보와 연결 지점으로 이루어지는 객체간 연결 데이터가 포함
- [0056] 2. 디지털 배관 계장도:
- [0057] - 경계상자와, 타입과, 심볼이나 텍스트 또는 라인으로 이루어지는 객체의 2D 모양(shape) 데이터로 구성
- [0058] - 통합 정보와 태그 또는 라인과 같은 객체 ID 및 모든 속성 데이터가 포함
- [0059] - 연결 정보와 연결 노드 및 연결 순서로 이루어지는 객체간 연결 데이터가 포함
- [0061] 또한, 위상 구조 재구성 과정(S200)은 객체 연결관계 식별 단계(S210), 위상(topology) 구조 그래프 표현 단계(S220), 연관관계 그래프 생성 단계(S230) 및 그래프 정제 단계(S240)로 이루어진다.
- [0062] 객체 연결관계 식별 단계(S210)에서는 객체를 인식하는 과정(S100)에서 생성된 객체 인식 데이터(object detection data)를 이용하여 인식된 객체인 심볼과 텍스트 및 라인 간의 연결관계를 식별한다.
- [0063] 객체 연결관계 식별 단계(S210)에서 객체 인식 과정(S100)을 통해 인식된 객체 인식 데이터를 이용하여, 심볼과 라인 및 텍스트간 연결관계를 식별할 때, 객체 인식 데이터에는 도 4의 테이블 또는 하기의 정보를 포함하고 있다고 가정한다.
- [0064] 1. 심볼
- [0065] - 심볼 타입은 기기(equipment)와 배관 요소(piping component) 및 계기(instrument)의 3종류로 구분된다.
- [0066] - 심볼 클래스(class)는 76종류로 구분된다.
- [0067] - 심볼의 경계상자 위치와 크기 및 회전 방향
- [0068] 2. 텍스트
- [0069] - 인식된 텍스트의 내용
- [0070] - 텍스트의 경계상자 위치와 크기 및 회전 방향
- [0071] 3. 라인
- [0072] - 실선, 파선 등으로 구분되는 라인 타입
- [0073] - 라인의 시작점과 끝점 위치
- [0075] 객체 연결관계 식별 단계(S210)에서는 도 4의 테이블에 주어진 정보만을 이용하여 객체간 연결관계를 식별한다.
- [0076] 심볼의 경우 76개로 세분화된 클래스 정보 대신 기기와 배관 요소 및 계기로 구분된 3가지 타입 정보를 이용하여, 심볼의 형상을 고려하지 않고 경계상자의 위치와 크기 및 회전 방향 정보만을 이용하여 심볼간의 연결관계를 식별한다.
- [0077] 또한, 티 피팅(tee fitting)이나 크로스 피팅(cross fitting)과 같이 배관 라인(piping line)의 분기 연결(branch connection)을 나타내는 심볼은 배관 계장도에 표현되지 않으므로, 객체 연결관계 식별 단계(S210)에서 새롭게 인식해줘야 한다.

- [0078] 라인의 경우 라인 타입이 주어지지만, 라인 타입은 단지 그래픽 속성만을 나타낼 뿐이며, 라인 타입을 통해 당해 라인이 배관 라인이나 시그널 라인(signal line)에 해당하는지 여부를 구분하지는 못하므로, 시작점과 끝점의 좌표만을 이용하여 라인간의 연결관계를 식별한다.
- [0079] 그리고 라인은 분절되어(segmented) 인식되므로, 꺾인 라인은 두 개의 라인으로 인식된다.
- [0080] 위상(topology) 구조 그래프 표현 단계(S220)에서는, 객체 연결관계 식별 단계(S210)에서 인식된 심볼과 텍스트 및 라인을 모두 노드(node)로 표현하여 그래프(graph) 데이터 상에 나타내며, 그래프 데이터에 나타낸 노드 간에 연결관계 존재 시, 해당 노드 사이에 각 노드를 연결하는 간선(edge)을 추가한다.
- [0081] 그래프(graph)는 노드(node)의 집합과, 노드를 연결하는 간선(edge)들의 집합으로 구성되는 데이터 구조를 의미하며, 그래프는 네트워크 구조를 표현하는데 주로 사용하게 되고, 다이어그램(diagram)을 그래프로 표현하는 경우, 심볼을 노드로 나타내며, 심볼들을 연결하는 라인을 간선으로 표현한다.
- [0082] 그러나, 위상 재구성 전에는 객체간의 연결관계 파악이 완료되지 않은 상태이기 때문에 라인을 간선으로 표현하기 명확하지 않으며, 라인 없이 심볼과 심볼이 서로 연결되거나, 심볼 또는 라인에 텍스트가 바로 연결되는 경우가 많아 간선 표현을 보다 불명확하게 한다.
- [0083] 따라서 위상 구조 그래프 표현 단계(S220)에서는 심볼과 텍스트 및 라인을 모두 노드로 표현하고, 이들 노드 사이에 연결 관계가 존재하는 경우 두 노드 사이에 간선을 추가한다.
- [0084] 도 5는 경계상자로 표현되는 배관 계장도의 예시이며, 도 6은 도 5의 배관 계장도의 그래프 표현을 나타내는 것으로, 도 6에서 실선으로 이루어진 원(circle)은 노드를 나타내고, 라인은 두 노드 사이의 간선을 나타내며, 점선으로 이루어진 원은 새로 추가된 노드를 나타낸다.
- [0085] 위상 구조 그래프 표현 단계(S220)에 따른 위상 재구성 전에는, 객체 인식 데이터의 객체들을 나타내는 노드만이 그래프 상에 존재하며, 위상 구조 그래프 표현 단계(S220)의 위상 재구성을 거치면서 노드 사이에 간선이 추가된다.
- [0086] 객체 인식 데이터에는 객체들간의 연관관계가 포함되지 않기 때문에, 연관관계 그래프 생성 단계(S230)에서는 경계상자와 라인의 형상 정보만을 이용하여 연관관계 그래프를 생성한다.
- [0087] 연관관계 그래프 생성 단계(S230)는 객체 인식 데이터 전처리 스텝(S231)과 제1 간선 추가 스텝(S232) 및 제2 간선 추가 스텝(S233)의 3개의 스텝으로 진행된다.
- [0088] 객체 인식 과정(S100)에서 인식한 객체 인식 데이터의 심볼 및 라인 정보는, 원본 배관 계장도의 도면과 정확하게 일치하지 않고 일정 수준의 오류 및 오차를 포함하기 때문에, 객체 인식 데이터 전처리 스텝(S231)에서는 각 객체간 연관관계 파악의 정확도를 높이기 위하여 객체 인식 데이터의 전처리를 진행한다.
- [0089] 객체 인식 데이터 전처리 스텝(S231)의 전처리는 다음과 같은 몇 가지 처리 방법으로 이루어진다.
- [0090] 1. 중복되는 라인 및 심볼을 하나로 병합하는 처리
- [0091] 2. 라인이 서로 교차하는 경우, 라인간 교차점을 기준으로 라인을 분할하고, 짧은 라인을 제거하는 처리
- [0092] 3. 라인의 일단이 텍스트를 제외한 심볼에 포함된 경우, 심볼에 포함되는 라인 부분을 제거하는 처리
- [0093] 4. 라인이 심볼을 관통하는 경우, 심볼을 기준으로 라인을 분할하는 처리
- [0095] 도 7a는 교차가 발생한 두 라인의 교차점을 기준으로 라인을 분할하고 짧은 라인을 제거하는 처리의 예시를 나타내고, 도 7b는 텍스트를 제외한 심볼에 포함된 라인의 일단을 제거하는 처리의 예시를 나타내며, 도 7c는 심볼을 관통하는 라인을 심볼을 기준으로 하여 분할하는 처리의 예시를 나타낸다.
- [0096] 객체 인식 데이터 전처리 스텝(S231)이 완료되면 제1 간선 추가 스텝(S232)이 수행되며, 제1 간선 추가 스텝(S232)에서는 텍스트와 심볼, 또는 텍스트와 라인간 연관 관계를 찾아 간선을 추가한다.
- [0097] 제1 간선 추가 스텝(S232)에서 텍스트를 심볼 또는 라인에 연관시킬 때에는, 연관관계가 확실한 것을 우선적으로 찾으며, 아래의 예시의 경우 연관관계가 확실한 것으로 판단한다.
- [0098] 1. 텍스트가 하나의 심볼에만 포함되며, 텍스트 경계상자와 심볼 경계상자간 중첩되는 부분의 비율이 텍스트 경

계상자 면적 대비 설정된 비율 이상으로 형성된 경우 완전 포함으로 처리

- [0099] 2. 텍스트가 하나의 라인에 포함되되, 라인이 텍스트 경계상자를 관통하고 텍스트와 라인 상호간 방향이 동일하며 텍스트 너비가 라인 너비에 포함되는 경우 완전 포함으로 처리
- [0100] 3. 위의 두 예시에 따른 경우가 아니면서, 텍스트가 하나의 심볼과 경계상자 면적이 50% 이상 중첩되고, 텍스트의 너비 또는 높이가 심볼의 너비 또는 높이에 완전히 포함되는 경우 완전 포함으로 처리
- [0102] 도 8a는 텍스트가 하나의 심볼에만 포함되는 경우를 나타내고, 도 8b는 텍스트가 하나의 라인에 포함되는 경우를 나타내며, 도 8c는 도 8a 또는 도 8b의 예시에 해당하지 않으면서 텍스트와 심볼이 중첩되는 경우를 나타낸다.
- [0103] 이때, 본 발명에서는 텍스트가 하나의 심볼에만 포함되는 경우로서, 텍스트 경계상자와 심볼 경계상자간 중첩되는 부분의 비율이 텍스트 경계상자 면적의 99% 이상인 경우 완전 포함으로 처리하였다.
- [0104] 그리고 텍스트와 심볼 또는 텍스트와 라인간 연관 관계가 불명확한 경우, 텍스트를 가장 가깝게 배치된 심볼 또는 라인으로 연결하며, 도 9에서 도시하는 바와 같이 텍스트 경계상자의 각 모서리 중심에서 좌표축을 따라 광선(ray)을 조사하였을 때 광선이 가장 먼저 도달하는 심볼 또는 라인을 텍스트로부터 가장 가깝게 배치된 심볼 또는 라인으로 선택된다.
- [0105] 위와 같은 가장 가깝게 배치된 심볼 또는 라인 선택 방식은, 일반적으로 텍스트가 라인을 따라 평행하게 배치되거나, 또는 심볼과 어느 정도 중심이 가깝게 배치된다는 점을 고려한 것으로, 도 9의 심볼 'P'와 같이 텍스트 'T'에 대하여 대각선 방향에 위치하는 심볼은 텍스트에 연결될 기회가 생기지 않아, 선택되지 못할 수 있다.
- [0106] 또한, 텍스트가 여러 줄로 표현되는 경우도 있으므로, 텍스트에서 가장 가까운 객체를 찾기 전, 특정 텍스트에서 가깝게 배치된 텍스트들을 찾아 하나의 텍스트로 병합하는 작업이 선행될 수 있다.
- [0107] 제2 간선 추가 스텝(S233)에서는 심볼과 라인들의 연결관계를 찾아 간선을 추가하며, 제2 간선 추가 스텝(S233)의 간선 추가는 다음과 같이 이루어진다.
- [0108] 1. 두 라인의 끝점간 거리가 설정된 범위 내에 형성된 경우, 라인 사이에 간선을 추가
- [0109] 2. 라인의 끝점과 심볼 경계상자간 거리가 설정된 범위 내에 형성된 경우, 라인과 심볼 사이에 간선을 추가
- [0110] 3. 두 심볼의 경계상자간 거리가 설정된 범위 내에 형성된 경우, 심볼 사이에 간선을 추가
- [0112] 연관관계 그래프 생성 단계(S230)가 완료되면, 심볼과 라인 및 텍스트간 연결관계를 찾아 그래프를 1차적으로 구성하고, 1차적으로 구성된 그래프에 추가적인 처리를 수행하는 그래프 정제 단계(S240)가 진행되며, 그래프 정제 단계(S240)는 사이클 제거 스텝(S241), 배관 요소 추가 스텝(S242), 라인 병합 스텝(S243), 노즐 추가 스텝(S244), 라인 클래스 결정 스텝(S245), 그리고 라인 정렬 스텝(S246)으로 이루어진다.
- [0113] 사이클 제거 스텝(S241)에서는 도 10a와 같이 세 개 이상의 심볼이 서로 근접 배치되면서 사이클(cycle)이 형성되는 경우, 사이클을 형성하는 노드들 중에서 가장 거리가 먼 두 노드 사이의 간선을 제거함으로써 심볼 사이에 형성된 사이클을 제거하며, 제거할 사이클의 검색은 깊이 우선 탐색(depth-first search)을 통해 이루어진다.
- [0114] 배관 요소 추가 스텝(S242)에서는 도 10b 및 도 10c에서 도시하는 바와 같이 분기(branch)를 형성하는 부분을 찾아 티 피팅(tee fitting)이나 크로스 피팅(cross fitting)과 같은 배관 요소를 추가한다.
- [0115] 배관 요소 추가 스텝(S242)에서는, 분기를 형성하는 라인들간 간선 연결과, 분기 기능을 가지는 배관 요소 신규 추가와, 추가된 배관 요소 및 분기의 모든 라인간 간선 연결이 이루어진다.
- [0116] 그래프에서 분기를 형성하는 라인들은 서로 간선으로 연결되어, 하나의 라인 노드로부터 다른 라인 노드로 연결되는 간선의 개수는 (분지수-1)의 값을 가지며, 라인 분기를 찾은 다음 분기 기능이 있는 배관 요소를 추가하고, 분기의 모든 라인이 배관 요소의 모서리에 새로 연결된다.
- [0117] 이에 따라 티 피팅의 경우 도 10c에서 도시하는 바와 같이 각 라인 노드는 가장자리를 통해 다른 두 개의 노드에 연결되며, 크로스 피팅의 경우 도 10d에서 도시하는 바와 같이 각 라인 노드는 가장자리를 통해 다른 세 개의 노드에 연결된다.

- [0118] 라인 병합 스텝(S243)에서는 여러개의 라인이 서로 연결된 경우, 도 10e에서 도시하는 바와 같이 파선을 제외하고 직렬로 연결된 다수의 라인을 하나의 라인으로 병합한다.
- [0119] 노즐(nozzle)은 배관 계장도에 나타나지 않거나, 또는 객체 인식 과정에서 잘 인식되지 않기 때문에, 노즐 추가 스텝(S244)을 통해 간선으로 연결된 라인과 기기(equipment) 심볼 사이에 노즐을 추가하며, 라인 클래스 결정 스텝(S245)에서는 라인의 클래스를 결정한다.
- [0120] 라인 클래스 결정 스텝(S245)에서는 라인이 배관선인지 또는 신호선인지 여부를 결정한다.
- [0121] 1. 배관선:
- [0122] 배관 요소와 배관 요소를 서로 연결하는 라인, 기기(equipment)나 노즐에 연결되는 라인을 배관(piping line)으로 인식한다.
- [0123] 2. 신호선:
- [0124] 오퍼레이터 클래스(operator class)의 계기(instrument)에 연결되는 라인, 계기와 계기를 서로 연결하는 라인, 계기와 배관 요소를 연결하는 라인을 신호선(signal line)으로 인식한다.
- [0125] 3. 배관선 또는 신호선으로의 인식 구분에 해당하지 않는 경우에는 미정(undefined)로 설정하여, 사용자가 직접 결정하도록 한다.
- [0127] 라인 정렬 스텝(S246)에서는 라인간 연결관계를 고려하여 라인을 연결된 순서대로 정렬하며, 임의의 라인으로부터 시작하여 주변 라인의 방향이 출발 라인의 방향과 일치하지 않으면 인접한 라인의 방향을 반전한다.
- [0128] 도 11a 및 도 11b는 객체 인식 과정(S100)에서 이미지 형식 배관 계장도로부터 인식된 객체의 위상 구조 재구성 결과를 나타내며, 좌측 도면은 원본 배관 계장도 도면을 나타내고, 중앙 및 우측 도면은 위상 구조 재구성 결과 생성된 그래프를 나타낸다.
- [0129] 도 11a 및 도 11b의 위상 구조 재구성이 완료된 그래프에서 파란색 화살표는 각 객체들 사이의 간선을 가시화하여 나타낸 것이고, 빨간색 표시 부분은 해당 표시 부분의 심볼과 텍스트가 서로 연결되어 있다는 것을 나타내며, 보라색 라인과 주황색 라인은 각각 신호선과 배관선을 나타낸다.
- [0130] 도 11a의 우측 도면에서는, 원본 배관 계장도 도면인 도 11a의 좌측 도면에 없는 노즐과 티가 추가된 것을 확인할 수 있으며, 원본 배관 계장도 도면에서는 라인이 실선(solid line)과 파선(dashed line)으로만 구분되었으나, 위상 재구성을 통해 라인의 기능에 맞게 인식한 결과 색상 구별을 통해 신호선과 배관선으로 구분하였다.
- [0131] 위상 구조 재구성 과정(S200)에서 최종 생성된 그래프는 객체 인식 데이터와 함께 XML 형식의 객체 연결 그래프에 저장되어, 디지털 배관 계장도를 생성하기 위한 속성 부가 과정(S300)으로 전달된다.
- [0132] 본 발명에 따른 위상 구조 재구성 과정(S200)은 아래와 같은 시스템 환경에서 구현되었다.
- [0133] - Operating System: MS Windows 10 Pro 64bit
- [0134] - CPU: Intel Core i9
- [0135] - RAM: 64GB
- [0136] - Language:C#
- [0137] - GUI: Windows Presentation Foundation(WPF), DevExpress
- [0139] 도 12 내지 도 16는 디지털 배관 계장도를 생성함으로써, 위상 구조 재구성 과정(S200)의 정밀도 및 재현도를 검증하기 위한 원본 도면인 이미지 형식 배관 계장도의 테스트 예 1 내지 5를 나타내는 도면이며, 각 테스트 예에 포함된 심볼과 텍스트 및 라인의 개수는 도 17과 같다.
- [0140] 1. 테스트1:
- [0141] 154개의 심볼과 216개의 텍스트 및 222개의 라인으로 구성

- [0142] 2. 테스트2:
- [0143] 82개의 심볼과 235개의 텍스트 및 122개의 라인으로 구성
- [0144] 3. 테스트3:
- [0145] 78개의 심볼과 227개의 텍스트 및 141개의 라인으로 구성
- [0146] 4. 테스트4:
- [0147] 62개의 심볼과 201개의 텍스트 및 112개의 라인으로 구성
- [0148] 5. 테스트5:
- [0149] 86개의 심볼과 325개의 텍스트 및 124개의 라인으로 구성

[0151] 도 18a 내지 도 22a는 테스트 실시 예 1 내지 5의 원본 도면인 이미지 형식 배관 계장도 일부분을 나타내고, 도 18b 내지 도 22b는 테스트 실시 예 1 내지 5의 위상 구조 재구성 완료 전의 그래프를 나타내며, 도 18c 내지 도 22c는 테스트 실시 예 1 내지 5의 위상 구조 재구성 완료 후의 그래프를 각각 나타낸다.

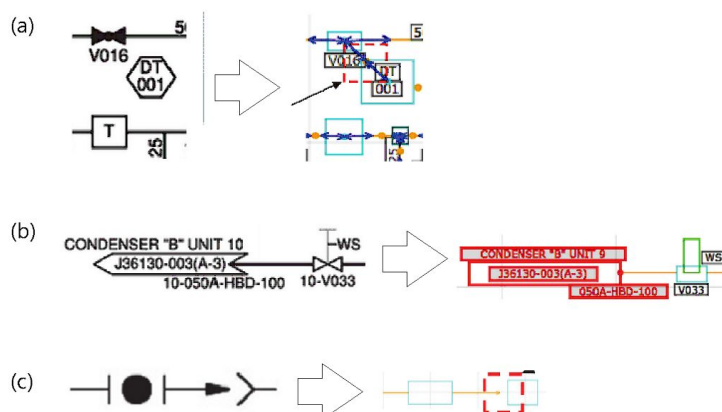
[0152] 위상 구조 재구성 과정(S200)에 따른 위상 구조 재구성 결과, 테스트 실시 예 1 내지 5의 정밀도 및 재현도 측정 결과는 도 23의 표와 같으며, 테스트 실시 예 1 내지 5의 평균 정밀도 및 재현도가 각각 99.56%와 96.07%로 형성되었다.

[0154] 상기 내용을 참조하여 본 발명의 실시 예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 당업자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적 특징을 변경하지 않고 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.

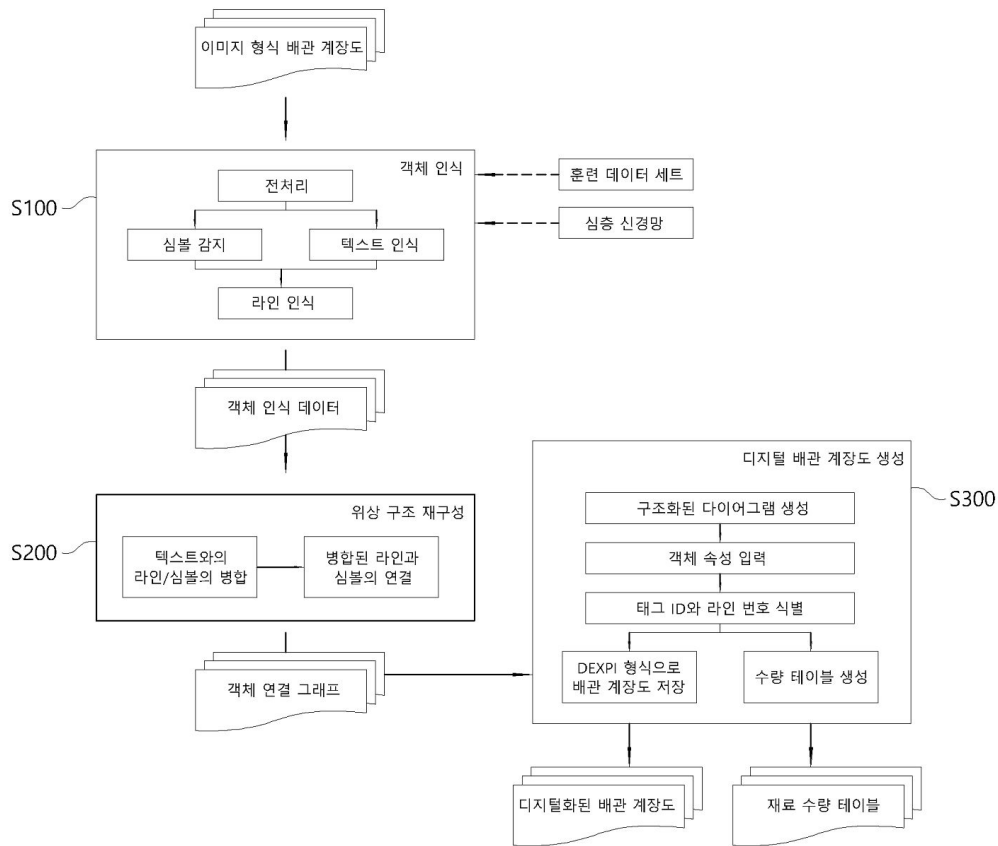
[0155] 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로서 이해되어야 하고, 상기 상세한 설명에서 기술된 본 발명의 범위는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타나며, 특허 청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 등가 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

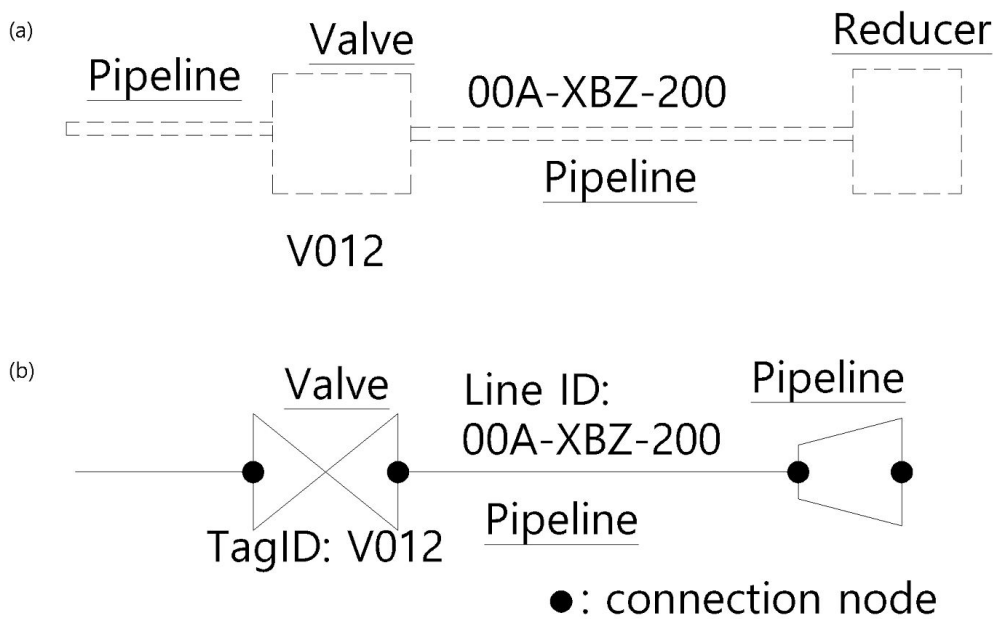
도면1



도면2



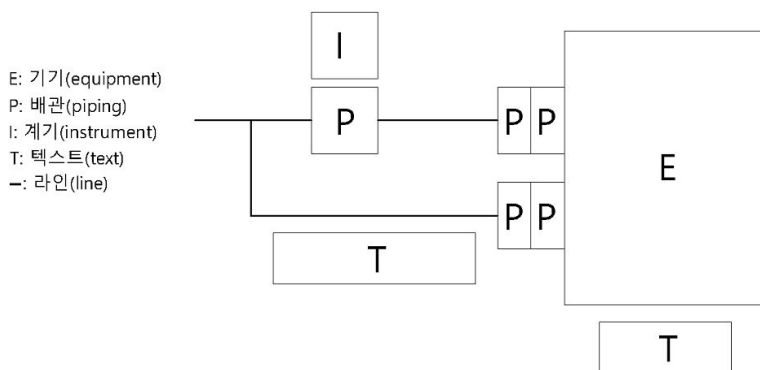
도면3



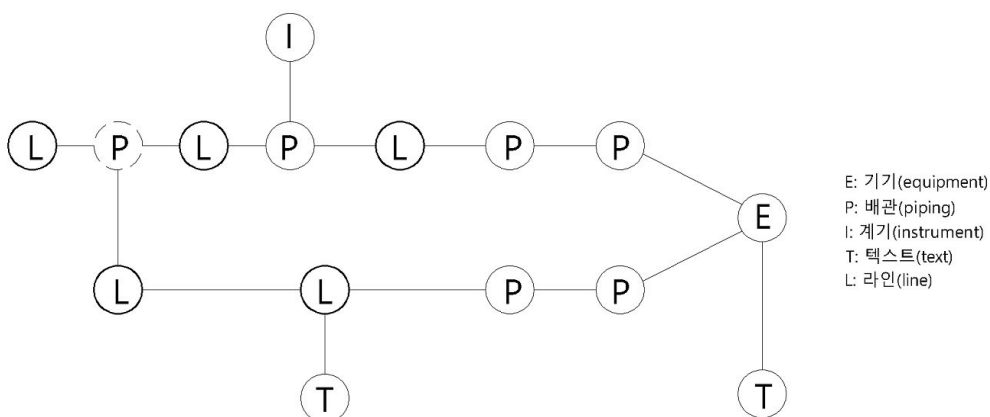
도면4

객체 종류	인식된 데이터
심볼	- 심볼 타입: 기기(equipment), 배관 요소(piping component), 계기(instrument) 중 하나 - 심볼 클래스: 76 종류 중 하나 - 심볼의 경계상자 위치/크기/회전방향
텍스트	- 인식된 텍스트 내용 - 경계상자 위치/크기/회전방향
라인	- 라인 타입: 실선, 파선 등 - 라인의 시작점과 끝점 위치 - 흐름 화살표

도면5

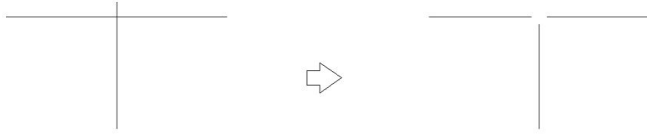


도면6



도면7

(a) 라인에 의한 라인 분할



(b) 심볼에 포함된 라인 부분 제거

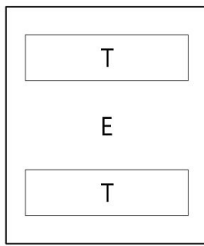


(c) 라인을 두 개의 라인으로 분할

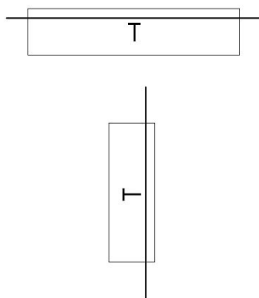


도면8

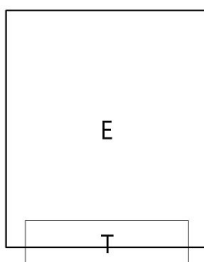
(a) 텍스트가 하나의 심볼에만 포함



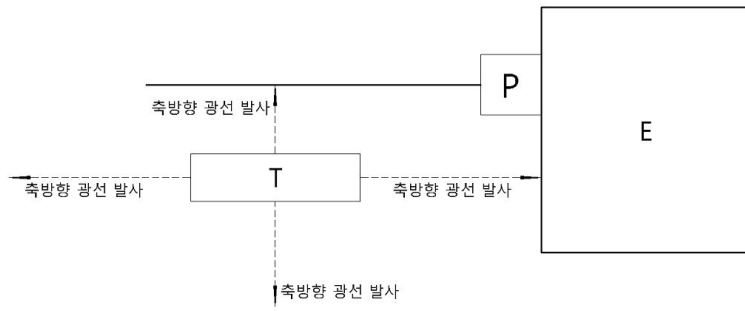
(b) 텍스트가 하나의 라인에 포함



(c) 텍스트가 하나의 심볼에만 포함
또는 텍스트가 하나의 라인에 포함되지 않는 경우로서,
텍스트와 심볼이 중첩

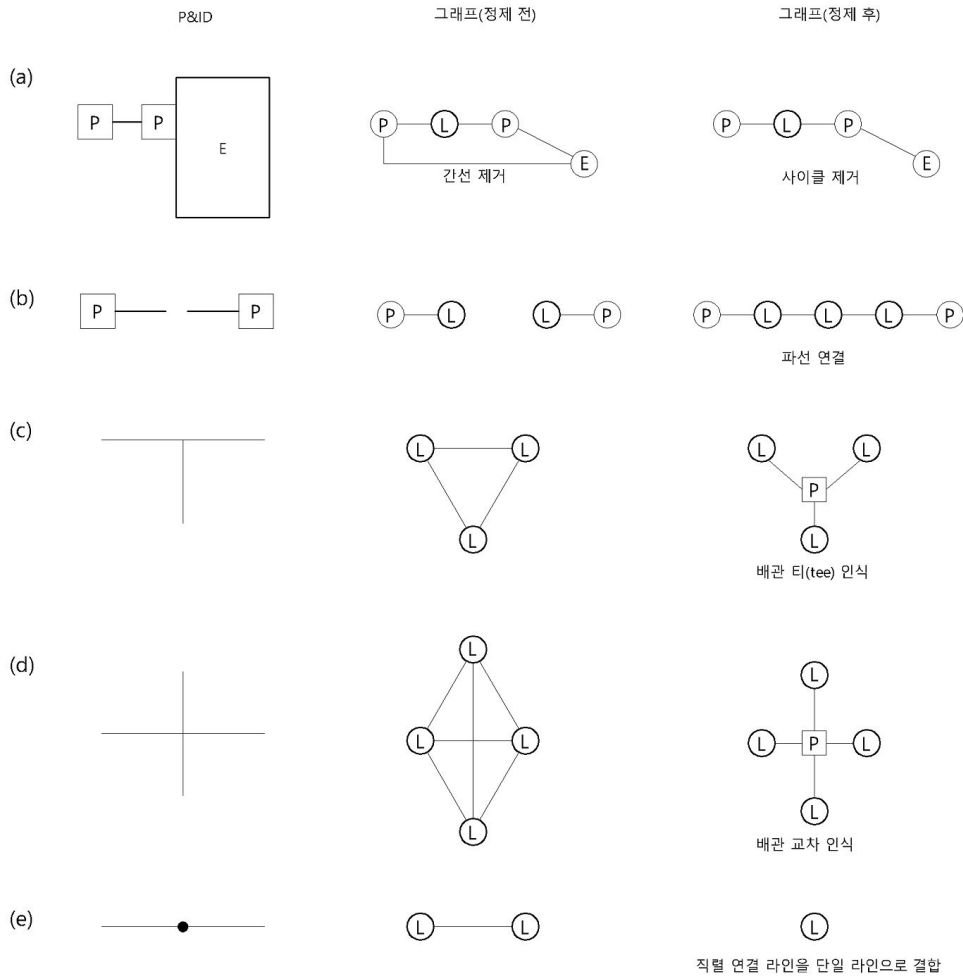


도면9

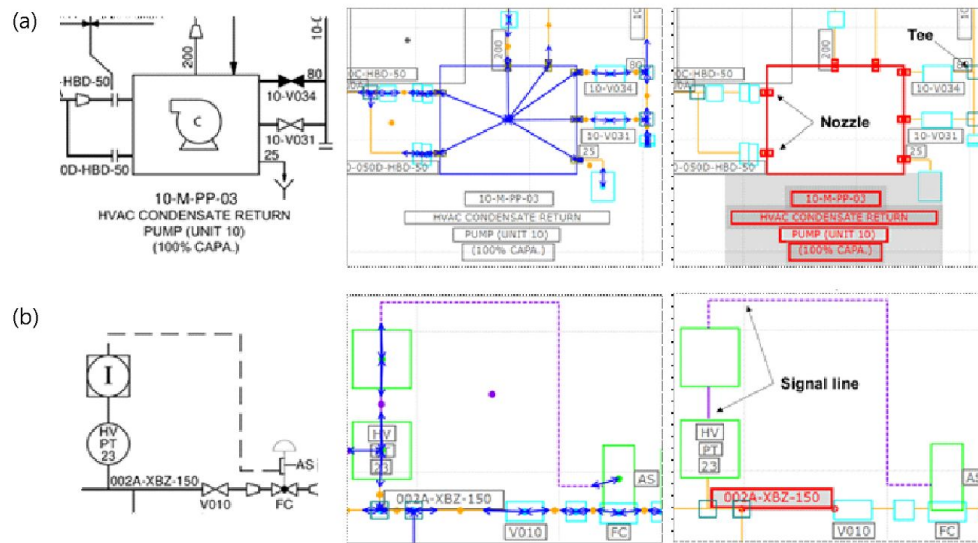


텍스트에서 가장 가까운 객체 찾기

도면10

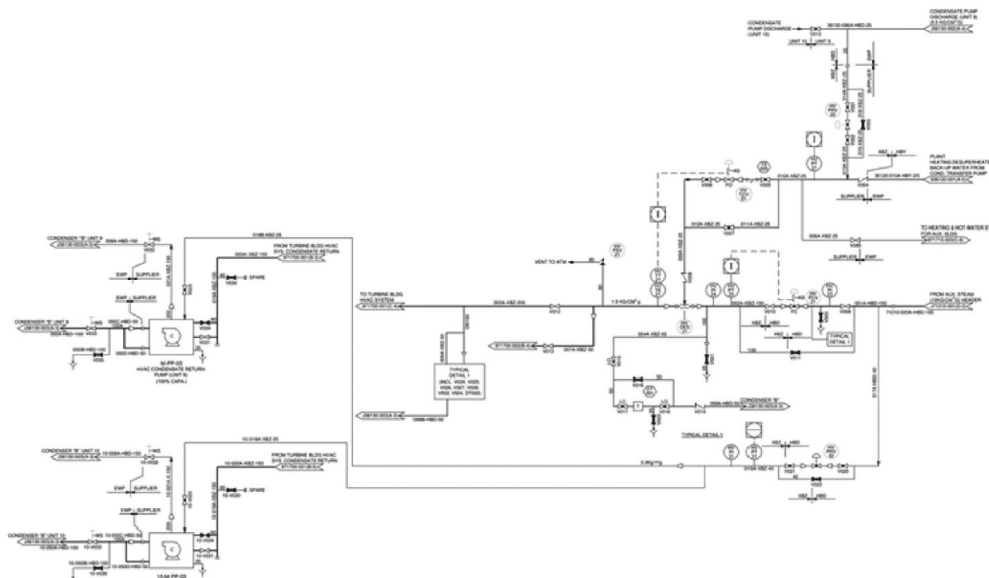


도면11



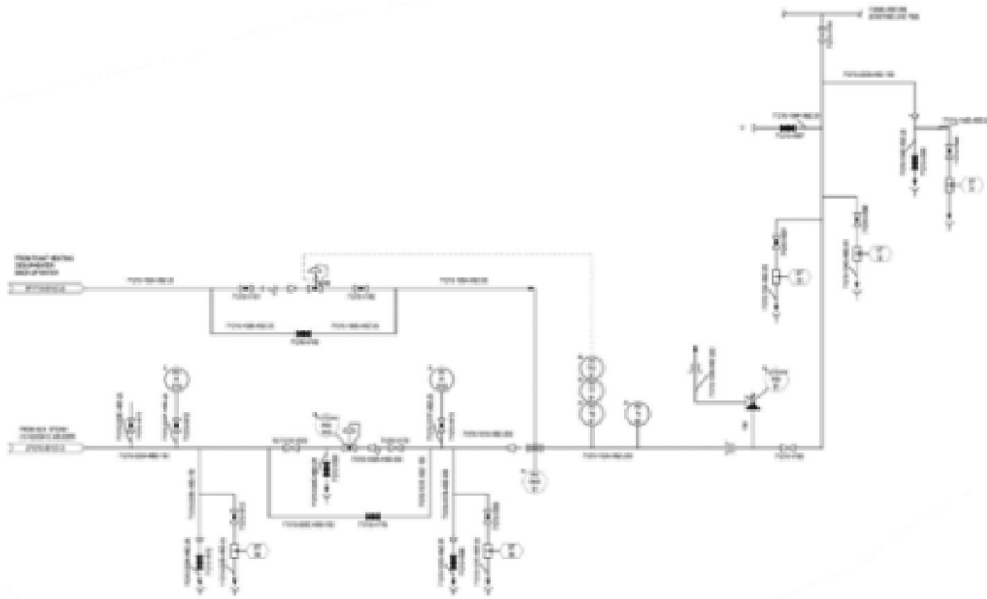
도면12

테스트1 P&ID



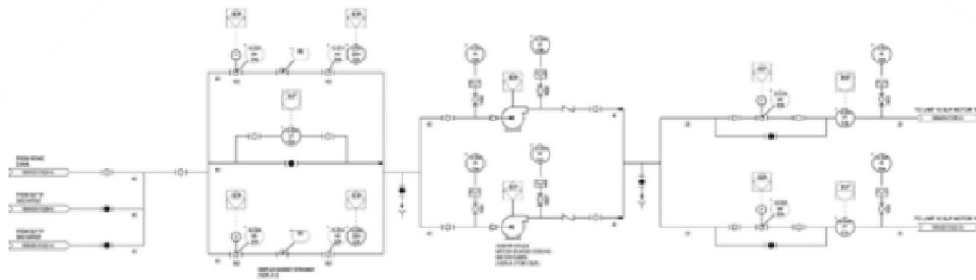
도면13

테스트2 P&ID



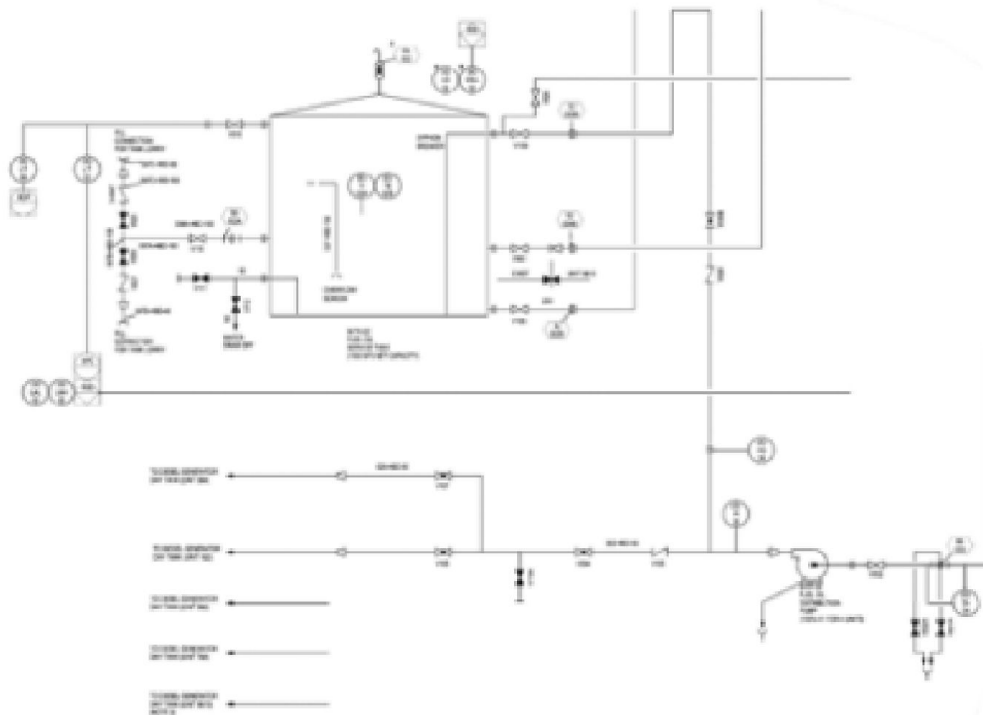
도면14

테스트3 P&ID



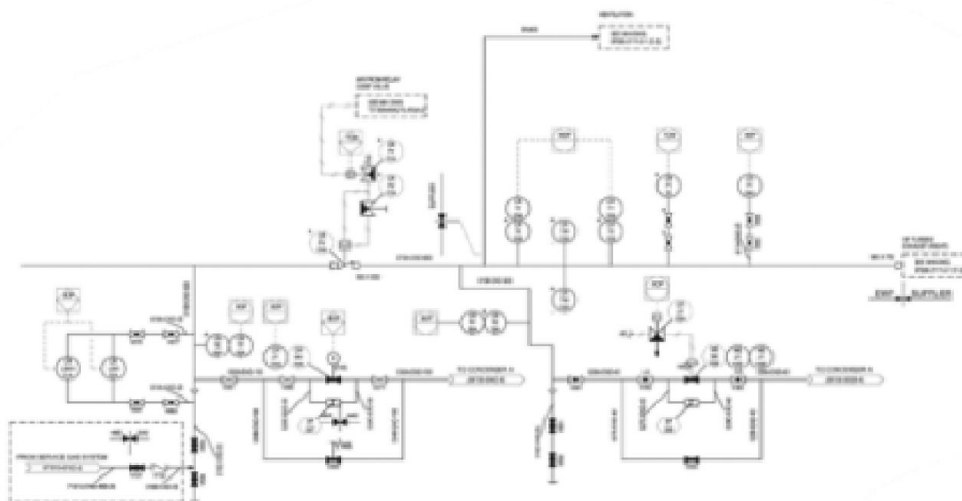
도면15

테스트4 P&ID



도면16

테스트5 P&ID

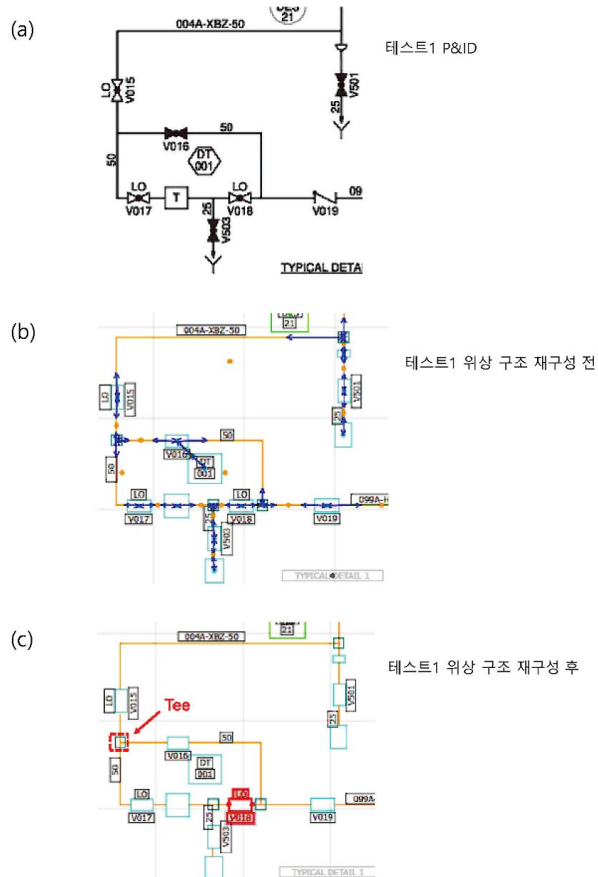


도면17

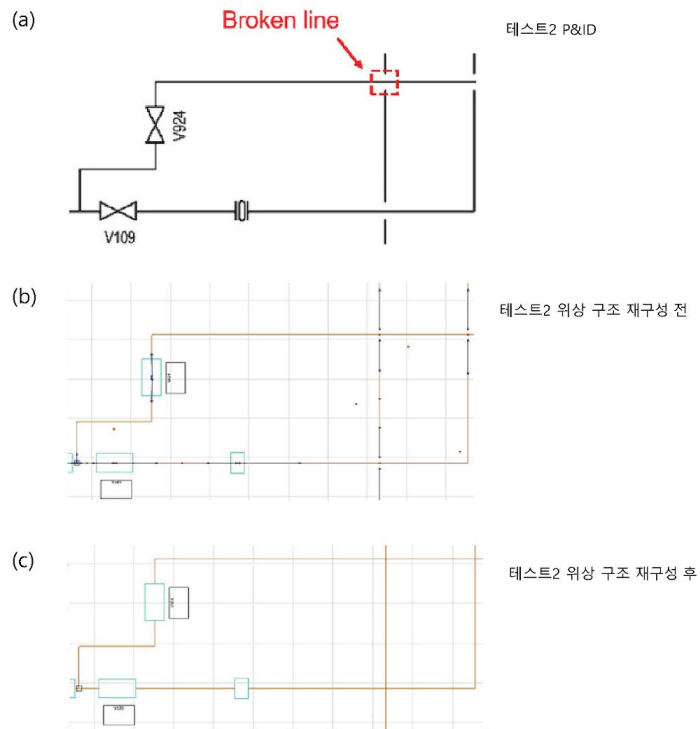
테스트1~5 P&ID의 심볼/텍스트/라인 수

	테스트1	테스트2	테스트3	테스트4	테스트5
심볼 수	154	82	78	62	86
텍스트 수	216	235	227	201	325
라인 수	222	122	141	112	124

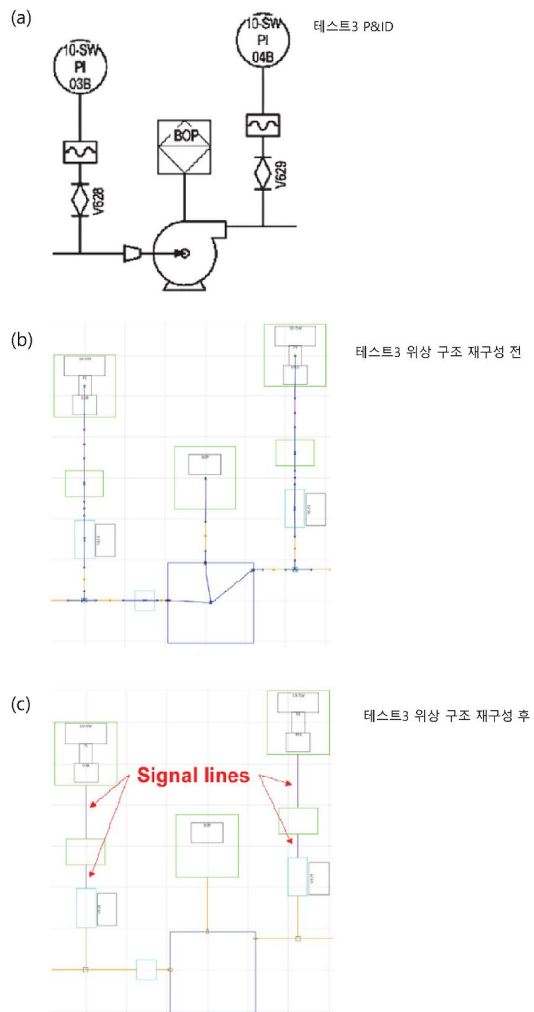
도면18



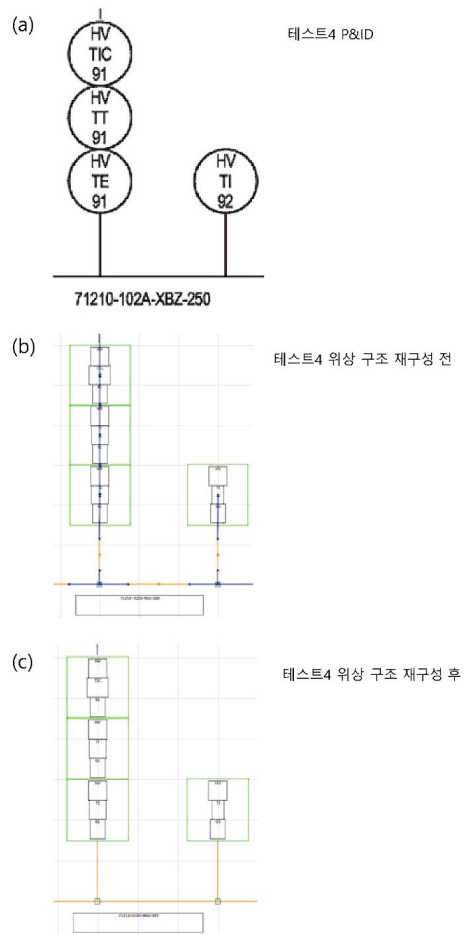
도면19



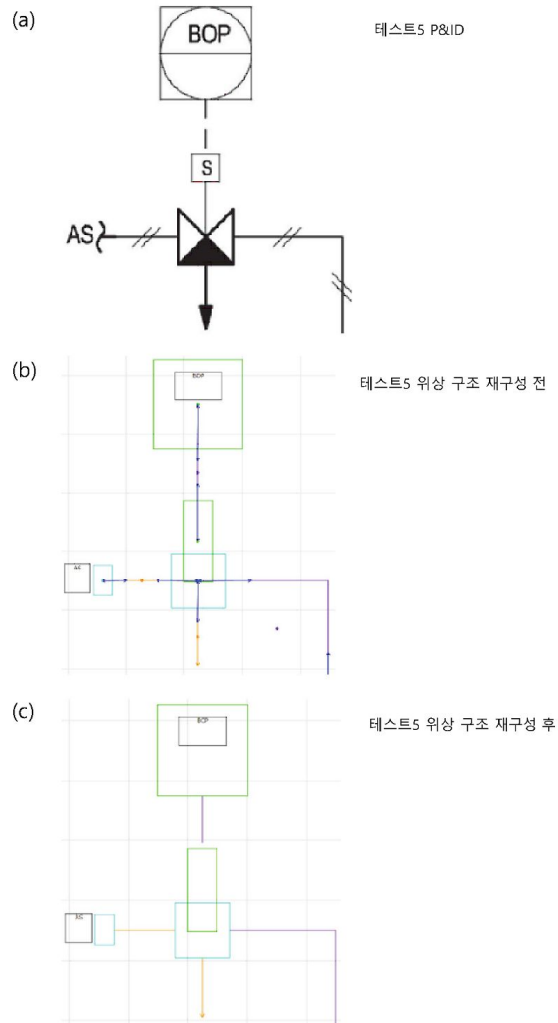
도면20



도면21



도면22



도면23

위상 구조 재구성 결과

	정밀도	재현도
테스트1	99.12%	98.26%
테스트2	100.00%	95.47%
테스트3	100.00%	97.54%
테스트4	99.53%	88.98%
테스트5	99.62%	96.51%
평균	99.56%	96.07%