

명세서

발명의 명칭: 매설관로의 누수 및 노후화에 따른 유지보수 판정 자동화를 위한 자기장통신 기반 상하수도 누수감지 시스템 기술분야

- [1] 본 발명은 매설관로의 누수 및 노후화에 따른 유지보수 판정 자동화를 위한 자기장통신 기반 상하수도 누수감지 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 열악한 지중 및 하상, 연약지반, 산사면, 수중 환경에서 전자파와 달리 매질의 변화에 의한 영향을 거의 받지 않는 자기장(Magnetic Field)을 이용하여 매질이 불균등한 매립 환경에서도 통신이 가능하도록 송신 회로와 수신 회로를 구성함으로써 하상 등 특수구간에서 높은 무선통신 성능을 가지되 지반내에 매설되어 있는 상하수도 배관에서 각 구간별 유압/유량 측정을 통해 누수 발생 여부 및 누수 발생 지점을 파악할 수 있도록 하는 실시간 모니터링 시스템에 관한 것이다.

[2]

배경기술

- [3] 전국 상수도관의 약 20%인 35,800km가 20년이 넘은 노후관이고 대형밸브, 공기밸브, 신축관 작동상태 조사 및 관리 소홀 등으로 인해 연 8억 톤의 누수가 발생하고 있으며, 또한 전국 하수관의 약 34%는 내수연한이 초과되었고 전국 하수관 123,311km 중 41,820km가 20년 이상 노후화된 상태이다. 나아가, 도심지 노후화에 따라 상하수도 누수 및 급격한 지하 수위의 변화 등 발생 빈도 및 위험성이 더욱 증가할 것으로 예상된다.
- [4] 현재 상하수관로에서 발생한 누수가 주변 토사를 유실시키거나 노후화 및 이음새 설치 불량에 의해 지하수가 유입되고 이 과정에서 토사가 관로 내부로 들어가거나 지반 침하가 발생하는 등의 사고가 발생하고 있으며, 이에 현재 지자체를 중심으로 시설물 유지 관리가 수행되고 있으나 상하수도의 경우 관망의 노후화와 기술의 한계로 인해 정밀한 관리가 미흡한 실정이다.
- [5] 이러한 사고를 예방하기 위해서는 상하수관로에서 발생하는 누수를 사전에 예측하거나 누수 발생을 발견할 수 있는 센싱 기술과 누수 상황을 사물인터넷 기반으로 실시간 모니터링하여 누수 상황을 분석하는 시스템 개발이 필요한 실정이다.

[6]

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [7] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 매설관로의 누수 및 노후화에 따른 유지보수 판정 자동화를 위한 자기장통신 기반 상하수도 누수감지 시스템을 제공하는데 있다.

- [8] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속한 기술분야의 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

[9]

과제 해결 수단

- [10] 이러한 과제를 해결하기 위하여 본 발명의 실시예에 따르면, 특정 관로, 상기 특정 관로의 상류에 결합된 상류 관로, 및 상기 특정 관로의 하류에 결합된 하류 관로 각각에 설치되어 상호간 근거리 무선통신을 수행하는 관로 모니터링 모듈들을 포함하고, 상기 관로 모니터링 모듈들 중 적어도 하나의 모듈은 상기 특정 관로, 상기 상류 관로 및 상기 하류 관로로부터 센싱된 정보를 자기장 통신을 통해 관리서버로 전송하는 것을 특징으로 하는 상하수도 누수감지 시스템이 제공된다.
- [11] 상기 관로 모니터링 모듈들은, 상기 특정 관로에 설치된 제1 모니터링 모듈 및 상기 상류 관로 및 상기 하류 관로 각각에 설치된 제2 모니터링 모듈들을 포함하고, 상기 제1 및 제2 모니터링 모듈들 각각은, 상기 제1 및 제2 모니터링 모듈들 각각이 설치된 해당 관로가 연장되는 방향과 수직인 방향으로 진행되는 제1 음파를 발생시키는 제1 음파발생부 및 해당 관로가 연장되는 방향과 평행한 방향으로 진행되는 제2 음파를 발생시키는 제2 음파발생부가 구비된 구동부; 상기 제1 음파, 상기 제2 음파 및 상기 제1 및 제2 모니터링 모듈들 각각이 설치된 해당 관로의 관로 상태 정보를 센싱하는 센싱부; 상기 제1 및 제2 모니터링 모듈들 상호간 근거리 무선통신을 수행하기 위한 근거리 무선통신부; 및 상기 센싱부 및 상기 근거리 무선통신부의 동작을 제어하는 제어부;를 포함하되, 상기 제1 모니터링 모듈은, 상기 제1 모니터링 모듈을 구동시키기 위한 전력을 공급하는 전원부; 센싱된 상기 관로 상태 정보를 처리하는 프로세싱부; 및 상기 프로세싱부에서 처리된 상기 관로 상태 정보를 상기 관리서버로 전송하기 위한 자기장 무선통신부;를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [12] 상기 특정 관로, 상기 상류 관로 및 상기 하류 관로 각각은 내부에 유로가 형성된 관로 몸체부 및 상기 관로 몸체부의 양측 말단에 배치되며 상기 관로 몸체부보다 외경이 큰 링 형상을 가지는 이음새부를 포함하도록 구성되며, 상기 센싱부는 높이센서, 기울기센서, 유압센서, 유속센서, 토압센서, 상기 제1 음파가 상기 관로 몸체부 내부에서 반사된 상기 제1-1 음파를 센싱하는 제1 음파센서 및 상기 제2 음파가 상기 이음새부에서 반사된 상기 제2-1 음파를 센싱하는 제2 음파센서를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [13] 상기 프로세싱부는 상기 높이센서, 상기 기울기센서, 상기 유압센서, 상기 유속센서, 상기 토압센서, 상기 제1 음파센서 및 상기 제2 음파센서 각각의 센싱값들에 기초하여 상기 특정 관로, 상기 상류 관로 및 상기 하류 관로 각각의 관로 상태점수를 산정하는 개별관로 상태점수 산정부; 및 상기 특정 관로, 상기

상류 관로 및 상기 하류 관로 각각의 관로 상태점수들에 기초하여 유지보수공사 필요성을 판단하기 위한 보수공사 스코어를 산정하는 보수공사 스코어 산정부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [14] 상기 개별관로 상태점수 산정부는 하기 수학적 식 1에 따라 상기 특정 관로, 상기 상류 관로 및 상기 하류 관로 각각의 관로 상태점수를 산정하는 것을 특징으로 한다.

[15] [수학적 식 1]

$$[16] \quad PcS = 3 \times \left| \frac{HPs - HPr}{HPr} \right| + \left| \frac{Vs - Vr}{Vr} \right| + 0.5 \times \left| \frac{SPs - SPr}{SPr} \right| \\ + 0.7 \times \left(\alpha - \left| \frac{SW1_{rms} - SW2_{rms}}{SW2_{rms}} \right| \right) + \frac{5}{\pi} \times (U_{dg} + D_{dg} - S_{dg}) + 3 \times \frac{UD_h + DD_h}{B_{tn}}$$

- [17] (여기서, PcS는 상기 관로 상태점수, HPs는 센싱유압값, HPr은 기준유압값, Vs는 센싱유속값, Vr은 기준유속값, SPs는 센싱토포압값, SPr은 기준토포압값, SW1_{RMS}는 상기 제1-1 음파의 RMS값, SW2_{RMS}는 상기 제2-1 음파의 RMS값, U_{dg}는 상기 상류 관로의 기울기값, D_{dg}는 상기 하류 관로의 기울기값, S_{dg}는 상기 특정 관로의 기울기값, UD_h는 상기 특정 관로와 상기 상류 관로의 단차 높이값, DD_h는 상기 특정 관로와 상기 하류 관로의 단차 높이값, B_{tn}은 상기 이음새부의 링 두께값을 의미한다.)

[18]

발명의 효과

- [19] 본 발명의 실시예들에 따르면 매설관로 매립영역을 파뒤집지 않은 채 매설관로의 누수 및 노후화를 효율적으로 판단할 수 있으며, 이와 동시에 상하수도 누수감지 시스템의 모니터링 모듈 유지보수 용이성을 증대시킬 수 있게 된다.
- [20] 본 개시의 기술적 사상에 따른 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

[21]

도면의 간단한 설명

- [22] 도 1은 본 발명의 일부 실시예들에 따른 상하수도 누수감지 시스템을 개념적으로 나타낸 도면이다.
- [23] 도 2는 본 발명의 일부 실시예들에 따른 상하수도 누수감지 시스템의 관로 모니터링 모듈들을 설명하기 위한 도면이다.
- [24] 도 3은 본 발명의 일부 실시예들에 따른 상하수도 누수감지 시스템의 관로 모니터링 모듈의 내부 구성을 설명하기 위한 구성도이다.
- [25] 도 4는 본 발명의 일부 실시예들에 따른 제1 관로 모니터링 모듈에 구비된 자기장 무선통신부의 내부 구성을 개략적으로 나타낸 구성도이다.

- [26] 도 5는 본 발명의 일부 실시예들에 따른 안테나 매칭부에 사용되는 트랜스포머의 권선비가 10:1인 경우의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.
- [27] 도 6은 본 발명의 일부 실시예들에 따른 수신회로에서 1 Hz ~ 1GHz 사이로 시뮬레이션 한 저잡음 증폭부(LNA)의 출력 결과를 나타낸 도면이다.
- [28] 도 7은 본 발명의 일부 실시예들에 따른 수신회로에서 일시적인 시간 동안 LNA에 사인과 신호를 입력하여 얻은 출력 신호를 나타낸 도면이다.
- [29] 도 8은 본 발명의 일부 실시예들에 따른 수신회로에서 LNA에 대해 출력단의 커플링 캐패시터만 남기고 커플링 캐패시터를 제거한 상태에서 버퍼를 넣어 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 도면이다.
- [30] 도 9는 본 발명의 일부 실시예들에 따른 수신회로에서 LNA에 대해 UGB를 이용하여 분리하고, 주파수를 1 Hz ~ 1GHz 사이로 연속적으로 변화시켜(AC Sweep) 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 도면이다.
- [31] 도 10은 본 발명의 일부 실시예들에 따른 수신회로의 LNA에 대해 주파수를 1 Hz ~ 1GHz 사이로 변화시킬 때 3 데시벨(dB)로 대역폭(Bandwidth)이 2.7 kHz인 구간과 그 이후 구간의 출력 신호를 나타낸 도면이다.

[32]

발명의 실시를 위한 형태

- [33] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.
- [34] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [35] 또한, 본 명세서에서 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함될 수 있다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [36] 도 1은 본 발명의 일부 실시예들에 따른 상하수도 누수감지 시스템을

개념적으로 나타낸 도면이고, 도 2는 본 발명의 일부 실시예들에 따른 상하수도 누수감지 시스템의 관로 모니터링 모듈들을 설명하기 위한 도면이며, 도 3은 본 발명의 일부 실시예들에 따른 상하수도 누수감지 시스템의 관로 모니터링 모듈의 내부 구성을 설명하기 위한 구성도이다.

- [37] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명의 실시예들에 따른 상하수도 누수감지 시스템은 관로 모니터링 모듈들(1000, 2000) 및 관리서버(S)를 포함할 수 있다.
- [38] 관로 모니터링 모듈들(1000, 2000) 중 적어도 하나는 관리서버(S)와 직간접적으로 통신을 수행할 수 있다. 즉, 적어도 하나의 관로 모니터링 모듈은 자기장 통신방식으로 관리서버와 직접 데이터 송수신을 수행하거나, 또는 관로 모니터링 모듈이 매립된 지상부 인근 영역에 배치된 중계기 등을 경유하여 데이터 송수신을 수행할 수 있다.
- [39] 관로 모니터링 모듈들(1000, 2000)은 상하수도를 구성하는 단위 관로들(P) 각각에 설치될 수 있다. 단위 관로들(P, 즉 P1 내지 P3) 각각은 내부에 유로가 형성된 관로 몸체부 및 상기 관로 몸체부의 양측 말단에 배치되며 상기 관로 몸체부보다 외경이 큰 링 형상을 가지는 이음새부(Ps)를 포함하도록 구성된다.
- [40] 제1 모니터링 모듈(1000)과 제2 모니터링 모듈(2000)은 인접 관로들에서 서로 교번하도록 배치될 수 있다. 보다 구체적인 예를 들면, 특정 관로(P2)에는 제1 모니터링 모듈(1000)이 설치되고, 특정 관로(P2)의 상류에 결합된 상류 관로(P1) 및 특정 관로(P2)의 하류에 결합된 하류 관로(P3) 각각에는 제2 모니터링 모듈(2000)이 설치될 수 있다.
- [41] 인접 관로들(즉, P1 및 P2, 또는 P2 및 P3)에 인접하도록 설치된 제1 모니터링 모듈(1000) 및 제2 모니터링 모듈(2000)은 상호간 근거리 무선통신(C1)을 수행할 수 있으며, 제1 모니터링 모듈(1000) 및 제2 모니터링 모듈(2000)의 차이점은 후술하도록 한다.
- [42] 상기 제1 및 제2 모니터링 모듈들(1000, 2000) 각각은, 근거리 무선통신부(200), 센싱부(300), 구동부(400) 및 제어부(700)를 포함할 수 있다. 여기서, 제1 모니터링 모듈(1000)에는 자기장 무선통신부(100), 프로세싱부(500) 및 전원부(600)가 추가적으로 포함될 수 있다. 즉, 제1 모니터링 모듈(1000)은 도 3에 도시된 구성들을 포함하되, 제2 모니터링 모듈(2000)은 도 3에 도시된 구성들 중 자기장 무선통신부(100), 프로세싱부(500) 및 전원부(600)를 제외한 구성들을 포함할 수 있다.
- [43] 이와 같이 제1 모니터링 모듈(1000) 및 제2 모니터링 모듈(2000)을 서로 교번하도록 배치하되 자기장 무선통신부(100), 프로세싱부(500) 및 전원부(600)를 제1 모니터링 모듈(1000)에만 구비하여 모듈들의 전력소비효율을 극대화함과 동시에 모듈들의 유지보수를 보다 간편하게 수행할 수 있게 된다. 즉, 전원부(600)의 전력소비에 따른 유지보수 필요시 제1 모니터링 모듈(1000)만을 관리해도 되므로, 유지보수의 용이성이 증대되고 비용이 감소하게 된다.

- [44] 한편, 제2 모니터링 모듈(2000)은 별도의 전원부가 구비되지 않은 패시브 타입으로 구동되며, 이를 위해 제1 모니터링 모듈(1000)은 근거리 무선통신을 통해 제2 모니터링 모듈(1000)로 전력을 공급하고, 제2 모니터링 모듈(1000)은 공급된 전력을 활용하여 센싱부(300)의 센싱동작을 수행 후, 센싱된 값을 근거리 무선통신을 통해 제1 모니터링 모듈(1000)로 전달할 수 있다.
- [45] 제1 모니터링 모듈(1000)은 제1 모니터링 모듈(1000)이 센싱한 제1 데이터들과, 제2 모니터링 모듈(1000)에 의해 센싱되어 근거리 무선통신으로 전달된 제2 데이터들을 취합하여 관리서버(S)로 전송하거나, 프로세싱부(500)에 의해 데이터 가공/분석을 수행하거나, 데이터 가공/분석 결과를 관리서버(S)로 전송할 수 있다.
- [46] 근거리 무선통신부(200)는 예를 들면 소전력 기반의 무선통신, 예를 들어 RFID 방식으로 구성될 수 있다.
- [47] 센싱부(300)는 모니터링 모듈들 각각이 설치된 해당 관로의 관로 상태 정보를 센싱할 수 있다.
- [48] 일부 실시예들에서, 센싱부(300)는 높이센서, 기울기센서, 유압센서, 유속센서, 토압센서, 후술할 음파들을 센싱하는 제1 및 제2 음파센서들을 포함할 수 있다. 구체적으로, 높이센서는 모니터링 모듈들 각각이 설치된 해당 관로의 높이정보를, 기울기센서는 해당 관로가 연장되는 방향의 기울기정보를, 유압센서는 해당 관로 내 유압(즉 수압)정보를, 유속센서는 해당 관로 내 유속정보를, 토압센서는 해당 관로에 인접하는 매립토사의 토압정보를, 제1 음파센서는 제1 음파가 관로 몸체부 내부에서 반사되어 돌아오는 제1-1 음파를, 제2 음파센서는 제2 음파가 이음새부에서 반사되어 돌아오는 제2-1 음파를 센싱한다. 상기 제1 및 제2 음파는 구동부(400)에 의해 발생할 수 있다. 이를 위해, 구동부(400)에는 해당 관로가 연장되는 방향과 수직인 방향(도 2의 Y축 방향)으로 진행되는 제1 음파를 발생시키는 제1 음파발생부 및 해당 관로가 연장되는 방향과 평행한 방향(도 2의 X축 방향)으로 진행되는 제2 음파를 발생시키는 제2 음파발생부가 구비된다.
- [49] 프로세싱부(500)는 센싱된 상기 관로 상태 정보를 처리하는 역할을 수행한다. 구체적으로, 특정 관로(P2)의 제1 모니터링 모듈(1000)에 구비된 프로세싱부(500)는 제1 모니터링 모듈(1000)의 센싱부(300)가 센싱한 데이터들, 상류 관로(P1)의 제2 모니터링 모듈(2000)의 센싱부(300)가 센싱한 데이터들, 및 하류 관로(P3)의 제2 모니터링 모듈(2000)의 센싱부(300)가 센싱한 데이터들을 각각 처리하거나, 병합하여 처리하는 역할을 수행할 수 있다.
- [50] 구체적으로, 프로세싱부(500)는 모듈들 각각의 높이센서, 기울기센서, 유압센서, 유속센서, 토압센서, 제1 음파센서 및 제2 음파센서 각각의 센싱값들에 기초하여 특정 관로, 상류 관로 및 하류 관로 각각의 관로 상태점수를 산정하는 개별관로 상태점수 산정부와, 특정 관로, 상류 관로 및 하류 관로 각각의 관로 상태점수들에 기초하여 유지보수공사 필요성을

판단하기 위한 보수공사 스코어를 산정하는 보수공사 스코어 산정부를 포함할 수 있다.

- [51] 한편, 상기 개별관로 상태점수 산정부는 하기 수학식 1에 따라 특정 관로, 상류 관로 및 하류 관로 각각의 관로 상태점수를 산정할 수 있다.

[수식1]

$$PcS = 3 \times \left| \frac{HPs - HPr}{HPr} \right| + \left| \frac{Vs - Vr}{Vr} \right| + 0.5 \times \left| \frac{SPs - SPr}{SPr} \right| + 0.7 \times \left(a - \left| \frac{SW1_{rms} - SW2_{rms}}{SW2_{rms}} \right| \right) + \frac{5}{\pi} \times (U_{dg} + D_{dg} - S_{dg}) + 3 \times \frac{UD_h + DD_h}{B_{tn}}$$

- [53] PcS가 특정 관로의 상태점수일 때, HPs는 특정 관로의 센싱유압값, HPr은 기준유압값, Vs는 특정 관로의 센싱유속값, Vr은 기준유속값, SPs는 특정 관로의 센싱토포압값, SPr은 기준토포압값, SW1_{RMS}는 특정 관로의 제1-1 음파의 RMS값, SW2_{RMS}는 특정 관로의 제2-1 음파의 RMS값, U_{dg}는 상류 관로의 기울기값, D_{dg}는 하류 관로의 기울기값, S_{dg}는 특정 관로의 기울기값, UD_h는 특정 관로와 상류 관로의 단차 높이값, DD_h는 특정 관로와 하류 관로의 단차 높이값, B_{tn}은 특정 관로의 이음새부의 링 두께값을 의미한다. 여기서 각 기준값들은 기 설정된 값일 수 있다.

- [54] 한편, 보수공사 스코어 산정부는 특정 관로의 상태점수, 상류 관로의 상태점수 및 하류 관로의 상태점수의 평균값으로 보수공사 스코어를 산정할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.

- [55] 나아가, 프로세싱부(500)는 기울기값 또는 높이값이 오차범위를 벗어난 때 해당 관로를 이음새 단차 판정 처리할 수 있다. 구체적으로, 프로세싱부(500)는 기울기값이 오차범위 이내이나 높이값이 오차범위를 벗어난 때 인접관로간의 어긋남 판정을, 높이값이 오차범위 이내이나 기울기값이 오차범위를 벗어난 때 인접관로간의 벌어짐 판정을 수행할 수 있다. 또한, 프로세싱부(500)는 기울기값 및 높이값이 오차범위 이내이나 제2-1 음파가 오차범위를 벗어난 때 해당 관로를 이음새 부식 판정 처리할 수 있다. 나아가, 프로세싱부(500)는 기울기값 및 높이값이 오차범위 이내이고 제2-1 음파 또한 오차범위 이내이나 유압 또는 유속이 오차범위를 벗어난 경우 해당 관로를 관로 바디부 누수판정 또는 토사유입 판정 처리할 수 있다.

- [56] 한편, 자기장 무선통신부(100)는 관로들(P1 내지 P3) 각각으로부터 센싱된 데이터값들 및/또는 프로세싱부에서 처리된 관로들 각각의 상태 정보(ex, 상기 관로상태점수)를 자기장 통신을 통해 관리서버(S)로 전송하는 역할을 수행할 수 있다. 이하에서는, 도 4 내지 도 10을 참조하여 자기장 무선통신부(100)의 동작 및 구성을 예시적으로 설명하도록 한다.

- [57] 도 4는 본 발명의 일부 실시예들에 따른 제1 관로 모니터링 모듈에 구비된 자기장 무선통신부의 내부 구성을 개략적으로 나타낸 구성도이고, 도 5는 안테나 매칭부에 사용되는 트랜스포머의 권선비가 10:1인 경우의 시뮬레이션

결과를 나타낸 도면이며, 도 6은 수신회로에서 1 Hz ~ 1GHz 사이로 시뮬레이션 한 LNA 출력 결과를 나타낸 도면이고, 도 7은 수신회로에서 일시적인 시간 동안 LNA에 사인과 신호를 입력하여 얻은 출력 신호를 나타낸 도면이며, 도 8은 수신회로에서 LNA에 대해 출력단의 커플링 캐패시터만 남기고 커플링 캐패시터를 제거한 상태에서 버퍼를 넣어 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 도면이고, 도 9는 수신회로에서 LNA에 대해 UGB를 이용하여 분리하고 주파수를 1 Hz ~ 1GHz 사이로 연속적으로 변화시켜 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 도면이며, 도 10은 수신회로의 LNA에 대해 주파수를 1 Hz ~ 1GHz 사이로 변화시킬 때 3dB로 대역폭이 2.7 kHz인 구간과 그 이후 구간의 출력 신호를 나타낸 도면이다.

- [58] 도 4 내지 도 10을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 자기장 무선통신부(100)는 안테나(102), 송신회로(110), 수신회로(120), 송수신 스위칭부(130), 안테나 매칭부(140), 제어부(150), 프로그램 메모리(Program Memory)(162), 데이터 메모리(164), 조정부(Arbiter)/디코더(Decoder)(166), 와치독(WatchDog)/타이머(Timer)(168), 인터럽 컨트롤러 (Interrupt Controller)(170), 범용 비동기화 송수신부(UART: Universal asynchronous receiver/transmitter)(172), 필드 프로그래머블 게이트 어레이 (FPGA: Field Programmable Gate Array)(174), 멀티 센서부(Multi-sensor)(176), 전원부(178)를 포함할 수 있다.
- [59] 안테나(102)는 특수구간으로 신호를 송출하거나, 특수구간으로부터 신호를 수신한다.
- [60] 송신회로(110)는 데이터를 하상 등 특수구간으로 송출하기 위한 신호로 처리한다. 이를 위해, 송신회로(110)는, 디지털 회로에서 입력된 BPSK I, Q 신호를 주파수 대역이 낮은 저역 신호로 여과하는 저역 통과 필터(Low Pass Filter)(112)와, LPF(112)를 통해 여과된 저역 신호를 증폭하여 송수신 스위칭부(130)에 전달하는 증폭부(Amplifier)(114)를 포함할 수 있다.
- [61] 또한, 송신회로(110)는 안테나(102)에서 최대 전력으로 신호가 송출되도록 아날로그 증폭기인 전계 효과 트랜지스터(Field Effect Transistor)를 통해 최대 전력으로 증폭시켜 안테나(102)에 전달할 수 있다.
- [62] 또한, 송신회로(110)는 디지털 회로에서 입력된 BPSK I, Q 신호를 저역 신호로 여과시키고 증폭한 후 마그네틱 필드를 통해 특수구간 상에 송출하고, 수신회로(120)는 마그네틱 필드에서 LC 공진에 의해서 자기장을 수신하여 저잡음 증폭하고 믹서를 통과하여 저역 신호로 여과한 후 I, Q 신호를 생성해 디지털 회로에 전달할 수 있다.
- [63] 수신회로(120)는 수신한 신호를 데이터로 처리한다. 이를 위해, 수신회로(120)는, 수신된 신호에서 잡음을 제거해 증폭하는 저잡음 증폭부(Low Noise Amplifier)(122), 저잡음 증폭된 신호를 혼합기를 이용해 I, Q 신호로 생성하는 믹서(Mixer)(124), 생성된 I, Q 신호를 주파수 대역이 낮은 신호로

여과하는 저역 통과 필터(Low Pass Filter)(126), 및 저역 통과된 아날로그 신호를 디지털 데이터로 변환하는 AD 변환부(Analog to Digital Converter)(128)를 포함할 수 있다.

- [64] 또한, 수신회로(120)는, 수신된 신호에 대해 서로 위상이 90도 차이가 나는 코사인 생성기(Cosine Productor) 및 사인 생성기(Sine Productor)의 2 개의 펄스 신호를 이용하여 I, Q 신호를 생성하는 멀티플렉서(Multiplexor)를 포함할 수 있다.
- [65] 또한, 송신회로(110) 또는 수신회로(120)는 전력(Power)에서의 잡음(Noise)을 제거하기 위해, 중앙 주파수(Center Frequency) 128 kHz를 일정한 수 MHz 대역의 주파수로 변경한 후에 고역 통과 필터(HPF)를 이용하여 중앙 주파수보다 낮은 주파수를 갖는 잡음 성분을 제거할 수 있다.
- [66] 또한, 송신회로(110) 또는 수신회로(120)는 저역 통과 필터(Low Pass Filter)를 사용하기에 주파수가 낮아서 여과(Filtering)를 위해 스위칭 레귤레이터(Switching Regulator)의 주파수를 수 MHz 대역의 주파수로 높인 후에 저역 통과 필터(Low Pass Filter)와 함께 고역 통과 필터(High Pass Filter)를 사용할 수 있다. 이때, 동작 가능한 최대 주파수(Maximum Oscillator Frequency)(fosc)로 예컨대, 160 kHz로 설정할 수 있다.
- [67] 송수신 스위칭부(130)는 안테나(102)를 송신회로(110) 또는 수신회로(120)에 스위칭 연결한다.
- [68] 안테나 매칭부(140)는 스위칭 연결된 송신회로(110) 또는 수신회로(120)를 안테나(110)의 채널에 매칭시킨다.
- [69] 또한, 안테나 매칭부(140)는 인가된 DC 12V의 전압을 120V의 전압으로 승압시켜 주는 트랜스포머(Transformer), 승압된 120V의 전압이 유지되도록 해 주는 캐패시터(Box Capacitor)를 포함할 수 있다. 여기서, 트랜스포머는 전압을 높이는 역할을 하고, 전류 소모도 많으므로, 효율을 위해 E 클래스 타입(Class E type) 전원 증폭기(Power Amp)와 함께 사용할 수 있다. 이 때, 트랜스포머의 권선비를 증가하면, 전압은 증가하지만 전류가 감소하므로, 최대 출력을 위해 권선비를 어떤 비율로 할 지가 중요하다.
- [70] 예를 들면, 트랜스포머의 권선비를 10:1로 하는 경우에 도 5에 도시된 바와 같은 결과를 얻을 수 있다. 도 5에 도시된 바와 같이, 트랜스포머의 권선비가 10:1인 경우에, 입력 진폭(Input Amplitude)이 2.5V이면 출력 진폭(Output Amplitude)은 0.25V가 되는 것이다. 그리고, 트랜스포머와 안테나 사이에 임피던스 매칭(Impedance Matching)을 위해 LLC 또는 LCC를 추가할 수도 있다.
- [71] 또한, 송신회로(110) 또는 수신회로(120)에 사용된 저역 통과 필터(Low Pass Filter)(112, 126)는, RC(Resistor and Capacitor) 저역 통과 필터(LPF)와, 버퍼(Buffer)용 OP(Operational) 증폭기(AMP)를 포함할 수 있다.
- [72] 제어부(150)는 예컨대, MCU(Micro Controller Unit)나 ARM 등으로 구현할 수 있으며, 송신회로(110)를 통해 신호가 특수구간으로 송출되도록 하거나, 하상 등

특수구간 으로부터 수신된 신호를 수신회로(120)를 통해 데이터로 처리하도록 제어한다.

- [73] 수신회로(120)에서 LNA(122)는 도 6에 도시된 바와 같이 일정 시간 동안 주파수를 1 Hz ~ 1GHz 사이로 연속적으로 변화시켜(AC Sweep) 시뮬레이션 한 결과, 대역폭(Bandwidth)이 157 kHz이고, 48 데시벨(dB)의 이득(Gain)을 얻을 수 있다. 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 수신회로에서 1 Hz ~ 1GHz 사이로 시뮬레이션 한 저잡음 증폭부(LNA)의 출력 결과를 나타낸 도면이다.
- [74] 또한, 수신회로(120)에서 LNA(122)는 도 7에 도시된 바와 같이 일시적인 (Transient) 0 ~ 50 usec 시간 동안에 1 mV 사인파 (SineWave) 신호를 입력하여 시뮬레이션 한 결과, 300 mV를 출력하고 48 데시벨(dB)의 이득(Gain)을 얻을 수 있다. 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 수신회로에서 일시적인 시간 동안 LNA에 사인파 신호를 입력하여 얻은 출력 신호를 나타낸 도면이다.
- [75] 또한, 수신회로(120)는 LNA(122)에 대해 커플링 캐패시터(Coupling Capacitor)를 제거하고, RC(Resistor and Capacitor) 저역 통과 필터(LPF)를 구성한 후, 버퍼(Buffer)용 OP(Operational) 증폭기(AMP)와 저역 통과 필터(LPF)가 반복되도록 구성할 수 있다.
- [76] 수신회로(120)에서 커플링 캐패시터(Coupling Capacitor)가 제거된 LNA(122)는 도 8에 도시된 바와 같이 일정 시간 동안 주파수를 1Hz ~ 1GHz 사이로 연속적으로 변화시켜(AC Sweep) 시뮬레이션 한 결과, 출력단 커플링 캐패시터(Coupling Capacitor)만 존재하는 상태에서 3 데시벨(dB)의 대역폭(Bandwidth)이 117.761 kHz이고, 55 데시벨(dB)의 이득(Gain)을 갖는 출력 신호를 얻을 수 있다. 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 수신회로에서 LNA에 대해 출력단의 커플링 캐패시터만 남기고 커플링 캐패시터를 제거한 상태에서 버퍼를 넣어 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 도면이다. 여기서, LNA(122)는 버퍼가 존재하지 않고, 커플링 캐패시터가 존재한다면, 전달함수가 바뀌기 때문에 대역통과 필터(Bandpass Filter)의 특성을 나타낼 수 있다.
- [77] 따라서, LNA(122) 단의 전달함수가 LPF 특성을 가지기 위해서는 Filter 중간에 존재하는 Coupling capacitor를 제거하고 Buffer를 연결해야 하는 것이다. 이때, LNA(122)는 UGB(Unity Gain Buffer)를 이용하여 분리(isolation)해야 한다. 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 수신회로에서 LNA에 대해 UGB를 이용하여 분리하고, 주파수를 1Hz ~ 1GHz 사이로 연속적으로 변화시켜 (AC Sweep) 시뮬레이션한 결과를 나타낸 도면이다. 수신회로(120)에서 LNA(122)는 일정 시간 동안 주파수를 1 Hz ~ 1GHz 사이로 연속적으로 변화시켜(AC Sweep) 시뮬레이션 한 결과, 도 16에 도시된 바와 같은 출력 신호를 얻을 수 있다. 즉, 수신회로(120)는 UGB를 이용한 LNA(122)에 의해 도 16에 도시된 바와 같이, 주파수가 1 Hz에서 1 kHz 사이에서는 전압이 0V에서 10V까지 증가하다가 1 kHz에서 10 kHz 사이에서는 전압이 10V에서 0V로 감소하는 것을 알 수 있다.
- [78] 또한, 수신회로(120)에서 LNA(122)는 도 10에 도시된 바와 같이 일정 시간 동안

주파수를 1 Hz ~ 1GHz 사이로 연속적으로 변화시켜(AC Sweep) 시뮬레이션하는 경우, 3 데시벨(dB)의 대역폭(Bandwidth)으로 2.7 kHz일 때 -0 mV이다가 10 kHz 전부터 낮아지기 시작해서 10 GHz 이전까지 -400 mV까지 낮아지는 것을 알 수 있다. 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 수신회로의 LNA에 대해 주파수를 1 Hz ~ 1GHz 사이로 변화시킬 때 3 데시벨(dB)로 대역폭(Bandwidth)이 2.7 kHz인 구간과 그 이후 구간의 출력 신호를 나타낸 도면이다.

- [79] 한편, 멀티플렉서(MUX)는 LNA(122)를 통과하여 증폭된 신호를 트랜스포머(U16)를 이용하여 위상이 180도 차이가 나는 RX+신호와 RX- 신호를 생성할 수 있다. 멀티플렉서(MUX)에 서로 위상이 반대인 신호가 각각 A0/B0와 A1/B1에 입력되면, 출력으로 A0/A1 선택신호 SYNC1, B0/B1 선택신호 SYNC2는 서로 위상이 90도 차이가 나는 128 KHz의 주파수 신호를 출력하는 것이다. 일반적인 통신 회로에서의 cos 신호와 sin 신호로 볼 수 있다.
- [80] 본 발명의 실시예에 따른 자기장 무선통신부(100)는, 먼저 제어부(150)가 송신회로(110)를 통해 신호가 특수구간으로 송출되도록 하거나, 특수구간으로부터 수신된 신호를 수신회로(120)를 통해 데이터로 처리하도록 송수신 스위칭부(130)를 스위칭 제어한다. 즉, 제어부(150)는 데이터를 특수구간으로 송출해야 할 경우에 송신회로(110)가 동작하도록 스위칭 제어하고, 특수구간으로부터 신호가 수신되면 수신회로(120)가 동작하도록 스위칭 제어하는 것이다.
- [81] 이어, 송수신 스위칭부(130)는 제어부(150)의 제어에 따라 송신회로(110) 또는 수신회로(120)를 안테나(102)에 스위칭 연결한다. 즉, 송수신 스위칭부(130)는 제어부(150)로부터 송신회로 스위칭 신호를 전달받으면, 송신회로(110)를 안테나(102)에 스위칭 연결하고, 수신회로 스위칭 신호를 전달받으면 수신회로(120)를 안테나(102)에 스위칭 연결한다.
- [82] 이어, 안테나 매칭부(140)는 스위칭 연결된 송신회로 또는 수신회로를 안테나의 채널에 매칭시킨다. 이때, 안테나 매칭부(140)는, 스위칭 연결된 송신회로(110) 또는 수신회로(120)를 안테나(102)의 채널에 매칭시킬 때, DC 12V의 전압을 트랜스포머(Transformer)를 통해 120V의 전압으로 승압시켜 주고, 승압된 120V의 전압이 캐패시터(Box Capacitor)를 통해 유지되도록 해준다.
- [83] 이어, 안테나(102)는 특수구간으로 신호를 송출하거나, 특수구간으로부터 신호를 수신한다. 송신회로(110)에서는 안테나(102)에서 적절한 최대전력으로 신호를 방출해야 원하는 곳까지 전자파가 도달할 수 있으므로, 최종적으로 얼마만한 전력으로 증폭시켜주는 것이 관건인데, RF에서는 전력 증폭기(Power Amplifier)가 이 역할을 하고, 저주파에서는 아날로그 증폭기가 이 역할을 하게 된다. 송신 출력을 위한 전력 회로는 전력 증폭기로서 클래스(Class) C 타입의 차동 증폭기(Differential Amp)를 이용하고, FET로서 LR7807Z를 이용할 수 있다. 본 발명의 실시예에 따른 하상 등 특수구간 통신에서는 아날로그 증폭기의 역할을 전계 효과 트랜지스터(FET)에서 수행할 수 있게 구성할 수 있으며, 이때

사용된 FET는 LR7807Z를 사용할 수 있다.

- [84] 따라서, 차동 증폭기와 FET가 포함된 송신회로는 10KHz ~ 10 MHz 대역에서 주파수 특성이 약 125 KHz에서 최대 크기가 될 수 있다.
- [85] 이어, 송신회로(110)가 데이터를 특수구간으로 송출하기 위한 신호로 처리하거나, 수신회로(120)가 안테나(102)를 통해 수신한 신호를 데이터로 처리한다. 여기서, 송신회로(110)는, 디지털 회로에서 입력된 BPSK I, Q 신호를 저역 통과 필터(Low Pass Filter)통해 주파수 대역이 낮은 저역 신호로 여과하고, 여과된 저역 신호를 증폭부(Amplifier)를 통해 증폭하여 송수신 스위칭부(130)에 전달함으로써 데이터를 특수구간으로 송출하기 위한 신호로 처리할 수 있다.
- [86] 또한, 송신회로(110)에서 신호를 송출하기 위해 안테나(102)에 매칭하는 안테나 매칭부(140)는, 인가된 DC 12V의 전압을 트랜스포머(Transformer)를 통해 120V의 전압으로 승압시켜 주며, 승압된 120V의 전압을 박스 캐패시터(Box Capacitor)를 통해 유지되도록 해 준다. 이때, 송신회로(110)는 디지털 회로에서 입력된 BPSK I, Q 신호를 저역 신호로 여과시키고 증폭한 후 마그네틱 필드를 통해 하상 등 특수구간 상에 송출하고, 수신회로(120)는 마그네틱 필드에서 LC 공진에 의해서 자기장을 수신하여 저잡음 증폭하고 믹서를 통과하여 저역 신호로 여과한 후 I, Q 신호를 생성해 디지털 회로에 전달하는 것이다.
- [87] 외부(특수구간)에서 안테나(102)를 통하여 수신된 신호는 그 크기가 매우 작으며, 또한 매우 지저분한 잡음들을 포함하고 있기 때문에 잡음을 최소화하면서 증폭하는 LNA(122)의 역할이 중요하다.
- [88] 특수구간 통신에서는 수신회로(120)에서 LNA(122)에 대해 도 25에 도시된 바와 같이 NE5532D 소자를 사용하여 구현한 후, input과 output단은 R, C를 이용하여 매칭하면서 $f_0 = 128\text{KHz}$ 에 맞추도록 구성할 수 있다.
- [89] LNA(122)에서 요구되는 사항은 $f_0 = 128\text{KHz}$ 인 경우에, $\text{Gain} > 30\text{dB}$, $\text{NF} < 1$ (2stage 이상이라면 $1.5 < \text{NF} < 2$ 정도)로 하되, 다단 연결은 최소화하면서 NF와 Gain과의 관계를 trade-off를 통해 보완해야 한다. 보통 class A를 추천하지만, 효율적인 면을 더 고려한다면 class AB나 B정도를 이용하는 것이 좋을 수 있다. NE5532D 소자를 사용한 결과, 전원 이득(DC Gain)은 다음 수학적 식 2에 따라 34.8 데시벨(dB)을 얻을 수 있다.
- [90] [수식2]

$$20 \log \left| \frac{V_{out}}{V_s} \right|_{f=0} = 20 \log \left| \frac{R_{43}}{R_{40}} \right| \approx 34.8 \text{dB}$$

- [91] 이때, Cutoff Frequency 3dB는 약 134kHz임을 알 수 있었다.
- [92] 또한, 수신회로(120)는 LNA(122)에 대해 NE5532D 소자로 구현할 수 있으며, 그에 따른 R53에서의 출력 파형은 128KHz 수백 mV 단위의 신호가 약 4Vp-p 로 증폭되었음을 알 수 있었다.

- [93] 수신회로(120)는 수신된 신호에 대해, 멀티플렉서(MUX)를 통해 서로 위상이 90도 차이가 나는 2 개의 펄스 신호를 이용하여 I 신호와 Q 신호를 생성할 수 있다. 이때, 하상 등 특수구간 통신에서는 HC4053소자를 이용하여 멀티플렉서(MUX)를 구현할 수 있다.
- [94] 전술한 바와 같이 본 발명에 의하면, 열악한 특수구간 환경에서 전자파와 달리 매질의 변화에 의한 영향을 거의 받지 않는 자기장(Magnetic Field)을 이용하여 매질이 불균등한 매립 환경에서도 통신이 가능하도록 송신 회로와 수신 회로를 구성함으로써 특수구간에서 무선 통신의 성능을 높일 수 있도록 하는, 특수구간 통신용 신호 송수신 방법 및 그 장치를 실현할 수 있다.
- [95] 본 실시예와 관련된 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상기된 기재의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 방법들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

청구범위

- [청구항 1] 상하수도 누수감지 시스템에 있어서,
 특정 관로, 상기 특정 관로의 상류에 결합된 상류 관로, 및 상기 특정 관로의 하류에 결합된 하류 관로 각각에 설치되어 상호간 근거리 무선통신을 수행하는 관로 모니터링 모듈들을 포함하고,
 상기 관로 모니터링 모듈들 중 적어도 하나의 모듈은 상기 특정 관로, 상기 상류 관로 및 상기 하류 관로로부터 센싱된 정보를 자기장 통신을 통해 관리서버로 전송하는 것을 특징으로 하는, 상하수도 누수감지 시스템.
- [청구항 2] 제1 항에 있어서,
 상기 관로 모니터링 모듈들은,
 상기 특정 관로에 설치된 제1 모니터링 모듈 및 상기 상류 관로 및 상기 하류 관로 각각에 설치된 제2 모니터링 모듈들을 포함하고,
 상기 제1 및 제2 모니터링 모듈들 각각은,
 상기 제1 및 제2 모니터링 모듈들 각각이 설치된 해당 관로가 연장되는 방향과 수직인 방향으로 진행하는 제1 음파를 발생시키는 제1 음파발생부 및 해당 관로가 연장되는 방향과 평행한 방향으로 진행하는 제2 음파를 발생시키는 제2 음파발생부가 구비된 구동부;
 상기 제1 음파, 상기 제2 음파 및 상기 제1 및 제2 모니터링 모듈들 각각이 설치된 해당 관로의 관로 상태 정보를 센싱하는 센싱부;
 상기 제1 및 제2 모니터링 모듈들 상호간 근거리 무선통신을 수행하기 위한 근거리 무선통신부; 및
 상기 센싱부 및 상기 근거리 무선통신부의 동작을 제어하는 제어부;를 포함하되,
 상기 제1 모니터링 모듈은,
 상기 제1 모니터링 모듈을 구동시키기 위한 전력을 공급하는 전원부;
 센싱된 상기 관로 상태 정보를 처리하는 프로세싱부; 및
 상기 프로세싱부에서 처리된 상기 관로 상태 정보를 상기 관리서버로 전송하기 위한 자기장 무선통신부;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 상하수도 누수감지 시스템.
- [청구항 3] 제2 항에 있어서,
 상기 특정 관로, 상기 상류 관로 및 상기 하류 관로 각각은 내부에 유로가 형성된 관로 몸체부 및 상기 관로 몸체부의 양측 말단에 배치되며 상기 관로 몸체부보다 외경이 큰 링 형상을 가지는 이음새부를 포함하도록 구성되며,
 상기 센싱부는 높이센서, 기울기센서, 유압센서, 유속센서, 토압센서, 상기 제1 음파가 상기 관로 몸체부 내부에서 반사된 상기 제1-1 음파를

센싱하는 제1 음파센서 및 상기 제2 음파가 상기 이음새부에서 반사된 상기 제2-1 음파를 센싱하는 제2 음파센서를 포함하는 것을 특징으로 하는, 상하수도 누수감지 시스템.

[청구항 4]

제3 항에 있어서,

상기 프로세싱부는 상기 높이센서, 상기 기울기센서, 상기 유압센서, 상기 유속센서, 상기 토압센서, 상기 제1 음파센서 및 상기 제2 음파센서 각각의 센싱값들에 기초하여 상기 특정 관로, 상기 상류 관로 및 상기 하류 관로 각각의 관로 상태점수를 산정하는 개별관로 상태점수 산정부; 및

상기 특정 관로, 상기 상류 관로 및 상기 하류 관로 각각의 관로 상태점수들에 기초하여 유지보수공사 필요성을 판단하기 위한 보수공사 스코어를 산정하는 보수공사 스코어 산정부;를 포함하는 것을 특징으로 하는, 상하수도 누수감지 시스템.

[청구항 5]

제4 항에 있어서,

상기 개별관로 상태점수 산정부는 하기 수학식 1에 따라 상기 특정 관로, 상기 상류 관로 및 상기 하류 관로 각각의 관로 상태점수를 산정하는 것을 특징으로 하는, 상하수도 누수감지 시스템.

[수학식 1]

$$PcS = 3 \times \left| \frac{HPs - HPr}{HPr} \right| + \left| \frac{Vs - Vr}{Vr} \right| + 0.5 \times \left| \frac{SPs - SPr}{SPr} \right| + 0.7 \times \left(a - \left| \frac{SW1_{rms} - SW2_{rms}}{SW2_{rms}} \right| \right) + \frac{5}{\pi} \times (U_{dg} + D_{dg} - S_{dg}) + 3 \times \frac{UD_h + DD_h}{B_{tn}}$$

(여기서, PcS는 상기 관로 상태점수, HPs는 센싱유압값, HPr은 기준유압값, Vs는 센싱유속값, Vr은 기준유속값, SPs는 센싱토압값, SPr은 기준토압값, SW1_{RMS}는 상기 제1-1 음파의 RMS값, SW2_{RMS}는 상기 제2-1 음파의 RMS값, U_{dg}는 상기 상류 관로의 기울기값, D_{dg}는 상기 하류 관로의 기울기값, S_{dg}는 상기 특정 관로의 기울기값, UD_h는 상기 특정 관로와 상기 상류 관로의 단차 높이값, DD_h는 상기 특정 관로와 상기 하류 관로의 단차 높이값, B_{tn}은 상기 이음새부의 링 두께값을 의미한다.)