명 세 서

청구범위

청구항 1

페이브먼트를 지반까지 수직으로 천공하는 단계;

상하로 길이를 갖는 파이프 형상을 취하고 측벽에는 충진부재(300)의 높이를 알리는 표시부(120)가 형성된 외관(100)을, 상기 천공된 페이브먼트에 끼워 매설하는 단계;

상기 외관(100)에 충진부재(300)를 상기 표시부(120)의 높이까지 충진하는 단계;

상기 외관(100)의 상단에 내관(200)을 삽입하는 단계;

를 통하여 설치하고, 상기 지반의 침하로 캐비티(ca)가 발생하면,

충진부재(300)가 하강하여 상기 캐비티(ca)를 충진하는 단계;

상기 캐비티(ca)의 부피에 맞추어 상기 내관(200)이 하강하는 단계;

상기 내관(200)의 높이변화를 측정하는 단계;를 통하여 지반 침하량을 구하되,

상기 내관(200)의 상단(b1)에 측침고정부(210)을 형성하고, 상기 측침고정부(210)는 상기 내관(200)의 상단(b1)에 아래 방향으로 홈을 파서 만들고,

레버(420); 상하방향으로 회전축 역할을 하는 레버축(421); 및 상기 레버(420)의 일단에 구비되며 금속의 질량체로 제공되는 무게추(410); 및 상기 레버(420)의 타단에 구비되며 소프트한 부직포 부재로 제공되는 표식(430);을 포함하는 수평배치측침(400)을 구비시키고,

상기 무게추(410)를 상기 측침고정부(210)에 얹고, 상기 레버축(421)을 상기 외관(100)의 외관입구(130)에 걸침을 시키고, 상기 레버(420)를 수평으로 배치한 후,

지반침하 발생시에, 상기 내관(200)의 움직임을 따라 금속의 질량체로 이루어진 상기 무게추(410)가 하강하면서 상기 내관(200)을 가압하여 하강운동을 돕고, 상기 레버축(421)을 중심으로 상기 레버(420)의 타단이 상승하여서 부직포 부재의 상기 표식(430)이 지반침하의 정보를 제공하는, 것을 특징으로 하는 지진에 의한 지반침하 측정방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 지진 등에 의한 지반침하 측정방법에 관한 것이다. 보다 상세하게는 지진 등에 의하여 발생하는 지반침하를 지표침하계를 이용하여 조기발견하고 측정하는 방법이나 수단에 대한 것이다.

[0002] 본 발명에 인용되는 지표침하계는 지표에 측량 포인트(Point)를 설치하여 정기적인 측량으로 터널굴착 및 성토 등에 따른 지반 거동량을 파악하여 지표침하로 인한 주변 구조물의 안정성 파악 등의 목적으로 설치되는 계측기이다.

배 경 기 술

[0003] 사용빈도가 높은 지표침하계는 지표에 측량 포인트(point)를 설치하여 정기적인 측량으로 터널굴착 및 성토 등에 따른 지반 거동량을 파악하여 지표침하로 인한 주변 구조물의 안정성 파악 등의 목적으로 설치되는 계측기이다.

[0004] 지표침하계는 하나의 관(Pin)으로 되어 있어 아스팔트와 같은 강성 연속체에 설치할 경우 강성 차이로 인해 공극(cavity)이 생겨서 정확한 침하량이 측정되지 않는 문제점은 물론, 공극 발생여부 확인이 어려워 교통사고 등의 원인이 되기도 한다. 또한, 터널 및 굴착부 등의 붕괴를 예견하기 어려워 대형 안전사고의 위험을 한고 있다.

[0005] 도 1 및 도 2에서 상술한 바와 관련하여 등록특허 제1235746호의 이중관 지표침하계를 이용한 침하량 측정 방법이 개시되어 있는 바,

[0006] 이중관 지표침하계는 마개(10)와, 내관(20)과, 외관(30)으로 크게 구성되는 데, 마개(10)는 상부면에 홈(15)을 포함하고, 내관(20)은 외경에 나사 형상을 포함하며, 외관(30)은 내부가 비어 있어 상기 내관(20)을 포함할 수 있는 형상으로, 내경에 상기 내관(20)의 나상 형상과 맞물리도록 형성된 나사 형상을 포함한다.

[0007] 상기 마개(10)와 내관(20), 외관(30)은 나사형태로 서로 맞물려있으며, 분리할 경우 가운데 상기 홈(15)을 통해 드라이버로 분리할 수 있다. 즉 도6에서 보는 바와 같이 상기 마개(10)와 내관(20), 외관(30)은 상기 홈(15)을 통해 내관(20)과 외관(30) 사이에 틈이 발생하도록 드라이버로 분리할 수 있다.

[0008] 상기 내관(20) 두부에는 측침을 세워 측량기법으로 측정위치의 절대 침하량을 파악할 수 있다. 도면의 예시에서, A 부분은 측침이고, B는 레벨기이며, C는 침하영향이 없는 기준점이다. 상기 내관(20)과 외관(30)의 상대변위로 캐비티(cavity) 규모를 아래 수학식과 같이 계산한다.

[0009] $$cavity\,\Delta = S_2 - S_1$$ (S1 : 내관 두부의 처음 위치(A부분), S2 : 내관 두부의 침하 위치(B부분))

[0010] 이중관 지표침하계를 이용한 침하량 측정 방법은 먼저, 터널 굴착 전에 지반에 천공 후 페이브먼트(Pavement)에 외관을 삽입 고정한다. 그리고 마개를 분리 후, 내관을 외관과 분리시킨다. 상기 내관이 지반의 침하에 따라 거동하게 되어 측량기법으로 측정위치의 절대 침하량을 파악하고, 상기 내관과 외관의 상대변위로 캐비티 규모를 파악한다.

[0011] 상기 내관이 지반의 침하에 따라 거동하게 되어 측량기법으로 측정위치의 절대 침하량을 파악하는 단계는, 상기 내관 두부에 측침을 세워 측량기법으로 측정위치의 절대 침하량을 파악하는 단계이다. 도로 페이브먼트의 강성에 영향을 받지 않고 지반의 침하에 따라 거동하게 되므로 내관의 두부침하가 실제침하와 정확히 일치하게 되는 작용효과가 있는 것으로 되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 그런데, 상기 이중관 지표침하계를 이용한 침하량 측정 방법은 종래의 다른 지표침하계들의 문제점을 일정부분 해소한 면은 있으나,

[0013] 내관과 외관의 상대변위로 캐비티 규모를 측정하게 되는데, 상기 내관의 하단이 접촉하는 지반의 침하 깊이를 측정할 수는 있지만, 실제 발생하는 캐비티의 전체 부피를 정확하게 반영할 수 없다.

[0014] 또한, 외관과 내관의 접촉면이 넓어서 이물질이 침투하거나 겨울철 결빙이 발생하는 등으로 외관의 내경에 내관이 고착될 확률이 커서 지반침하에 따른 공극, 캐비티가 발생하더라도 내관이 유효하게 하강하지 못할 수 있어서, 지반침하의 측정이 용이하게 이루어지지 않을 수가 있다.

[0015] 본 발명은 전술된 문제점들을 해소하여 정확한 침하량을 측정할 수 있는 측정 방법이나 수단을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0016] 상술한 과제를 해소하기 위하여 본 발명은,

[0017] 상하로 길이를 갖는 파이프 형상으로서 측벽에는 충진부재의 높이를 알리는 표시부가 형성된 외관과,

[0018] 상기 외관의 내부에 상기 표시부의 높이까지 충진된 입상(粒狀)의 충진부재와,

[0019] 상기 외관의 상단에 내관이 삽입되어 설치된 후,

[0020] 지반의 침하로 캐비티가 발생하면,

[0021] 충진부재가 하강하여 상기 캐비티가 충진되고,

[0022] 상기 캐비티의 부피에 맞추어 상기 내관이 하강하도록 된 측정방법에 있어서,

[0023] 상기 내관의 상단(b1)에 측침고정부(210)가 형성되고,

[0024] 레버(420); 상하방향으로 회전축 역할을 하도록 상기 레버(420)의 일단 인근에 배치되는 레버축(421); 구 형상을 취하여 상기 레버(420)의 일단에 구비되는 무게추(410); 및 접힘이 가능하며 상기 레버(420)의 타단에 구비되는 표식(430);을 포함하는 수평배치측침(400)이 구비되어서,

[0025] 상기 무게추(410)는 상기 측침고정부(210)에 안착되고,

[0026] 상기 안착이 유지되는 상태에서 상기 수평배치측침(400)이 수평 자세로 기울여지고,

[0027] 상기 레버축(421)이 상기 외관의 외관입구(130)에 걸침이 되되, 상기 무게추(410) 쪽에 짧은 길이를 갖는 단축(z1)과 반대 쪽에 긴 길이를 갖는 장축(z2)으로 구분되게 걸침이 되고,

[0028] 상기 레버(420)가 지면에 접촉되어 수평으로 배치된 후,

[0029] 지반침하가 발생하면,

[0030] 상기 내관의 움직임을 따라 상기 무게추(410)가 하강하고,

[0031] 상기 무게추(410)의 하강에 대하여 상기 레버축(421)을 중심으로 상기 레버(420)의 타단이 상승하면서, 지면에 접촉하여 접혀진 상기 표식(430)이 펴지면서 상승하되,

[0032] 상기 단축(z1)의 작은 하강이 상기 레버축(421)을 회전축으로 상기 장축(z2)의 큰 상승(z3)을 일으켜서 지반침하의 정보를 증폭하도록 제공된다.

발명의 효과

[0033] 본 발명에 따르면, 캐비티의 넓은 면적의 부피에 대하여, 외관의 좁은 면적에 충진된 충진부재의 부피가 대응하므로, 내관의 하강, 거동이 커서 지반침하의 변화를 보다 민감하고 확실하게 반영할 수 있으며,

[0034] 종래의 이중관침하계의 것보다 내관의 길이를 짧게 형성하므로, 내관의 외경과 외관의 내경에 대한 접촉면을 줄일 수 있어서, 이물질 등에 의한 저항을 적게 받아 내관의 거동에 신뢰도를 높일 수 있으며,

[0035] 지반의 침하에 따른 캐비티의 실제 부피측정을 실시할 수 있어서, 전체 캐비티의 규모 및 침하량을 바로 알 수 있어서, 지진 등에 의한 지반침하에 따른 신속한 조치를 취할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0036] 도 1 및 도 2는 종래기술에 관한 것이다.

도1은 지표침하관의 실시를 보인 예시도.

도2는 이중관 지표침하계 및 수준측량의 실시를 보인 예시도.

도 3 A는 외관의 사시도 및 측단면도; 도 3 B는 내관의 사시도 및 측단면도;

도 4는 페이브먼트에 외관이 매설된 상태를 보인 측단면도;

도 5 A는 충진부재를 충진하는 예시를 보인 측단면도; 도 5 B는 충진부재가 충진된 상태를 측단면으로 보인 상태도;

도 6 A 및 도 6 B는 충진부재를 충진하는 다른 예시를 측단면으로 보인 실시도.

도 7 A는 내관을 끼워 삽입하는 과정을 측단면으로 도시한 예시도; 도 7 B는 내관이 외관에 삽입된 상태를 측단면으로 보인 상태도;

도 8 A는 지표의 지반침하 전 상태를 측단면으로 보인 상태도; B는 지반침하로 캐비티가 발생한 상태를 측단면으로 보인 상태도;

도 9 A는 캐비티를 채우기 위해 충진부재가 하강하는 상태를 측단면으로 보인 예시도; 도 9 B는 캐비티의 부피를 구하기 위한 수학공식 및 내관이 하강된 상태를 측단면으로 보인 상태도;

이하, 수평배치측침(400)에 관하여 실시례를 보인 것으로서,

도 10 상기 수평배치측침의 구성을 보인 예시도.

도 11 상기 수평배치측침이 설치되어 수평으로 배치된 것을 예시한 상태도.

도 12 상기 수평배치측침의 작동을 보인 상태도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0037] 본 발명에 인용되는 지표침하계와 관련하여 그 외관(100) 및 상기 외관의 내부(110)를 측단면으로 보이고, 상기 외관의 상단(a1)에 삽입되어 상기 외관의 하단(a2) 방향으로 하강할 수 있는 내관(200) 및 그 측단면을 보인 것이 도 3의 예시이다.

[0038] 상기 외관(100)은 상하로 길이를 갖는 파이프(pipe, 관)의 형태를 취하며, 그 측벽에는 내부(110)를 채울 충진부재(300)의 높이를 알려서 안내하는 표시부(120)를 형성한다. 상기 표시부(120)의 형태는 통상적으로 단순히 표시하는 방법 외에도 상기 외관(100)의 측벽에, 도면의 예시처럼, 천공을 가하여 구멍을 형성하거나, 수평방향으로 소정의 길이만큼 절개하여 형성할 수 있다. 이러한 구멍, 절개의 목적은 필요시에 충진부재(300)를 밖으로 자연스럽게 배출해서 상기 표시부(120)에 상기 충진부재(300)의 높이를 맞추기 위해서다.

[0039] 상기 내관(200)은 상기 내관의 상단(b1)에 측침고정부(210)가 형성되어서 예컨대, 상기 측침고정부에 홈을 내고 상기 홈에 측침을 꽂는 등의 방법으로 측침을 고정할 수가 있다. 상기 내관의 하단(b2)은 그 아래에 접촉하게 될 충진부재(300)를 자체 중량의 일정한 압력으로 가압하거나, 상기 충진부재(300)에 떠받들여질 수 있는 면의 형태를 취한다.

[0040] 상기 내관(200)의 외경은 상기 외관(100)의 내경에 대응하도록 형성되고, 그 수직 길이는 이물질 등으로부터 간섭을 덜 받도록 가능한 짧게 하여 최소화 하는 것이 바람직하다. 그리고 유효한 압력을 아래로 가하여 캐비티(ca) 발생시에 유효하게 하강이 이루어질 수 있도록 납과 같은 금속 등 중량이 큰 부재를 채택하는 것이 바람직하다.

[0041] 시공시에는, 도 4의 예시처럼, 포장도로 페이브먼트(pa)에 상기 외관(100)의 외경에 맞는 수직 구멍을 천공하고, 상기 외관(100)을 끼워 고정한다. 이때, 가능한 상기 외관의 하단(a2)이 지반(gr)에 잘 밀착될수 있도록 한다.

[0042] 다음, 도 5 A의 예시처럼, 상기 외관의 상단(a1)으로부터 상기 외관의 내부(110)를 채울 충진부재(300)를 부어서 상기 표시부(120)의 높이(di)까지 채운다.

[0043] 상기 충진부재(300)는 모래, 구슬과 같은 입상(粒狀)으로서 빈 공간을 스며들어 채울 수 있는 부재를 채택한다. 모래처럼 입자가 작은 경우에는 캐비티(ca)의 좁은 공간에도 잘 파고들거나 스며들기가 용이한 잇점이 있고, 구슬처럼 입자가 큰 경우에는 관리가 용이하며, 자체중량이 크고 구형상을 취해서 거동하는 데에 저항 요소가 발생하더라도, 저항을 이겨내고 거동에 용이한 잇점이 있다.

[0044] 상기 충진부재(300)를 상기 표시부(120)에 정확히 맞추기 어려운 경우에는 상기 외관(100)을 페이브먼트(pa)에 매립하기 전에 미리, 도 6 A의 예시처럼, 외관(100)의 내부(110)에 충진부재(300)를 채우고 상기 표시부(120)를 넘어서 남는 여분은 상기 표시부(120)의 구멍 밖으로 자연스럽게 통과해서 배출(300`)될 수 있도록 한다. 그리고, 도 6 B의 예시처럼. 보관용기(40)에 상기 충진부재(300)를 옮겨 담은 후, 도 4의 예시와 같이, 상기 외관(100)을 페이브먼트(pa)에 천공된 구멍에 끼워 매립한다. 그 후에, 도 5의 예시와 같이, 상기 보관용기(40)의 충진부재(300)를 다시 상기 외관(100)의 내부(110)에 부어서 충진하면 상기 표시부(120)에 정확히 맞추어진 충진량의 충진부재(300)를 충진할 수 있다.

[0045] 전술된 바와 같은 작업을 수행한 뒤에 상기 충진부재(300)가 정확히 충진되면, 도 7 A 및 도 7B의 예시처럼, 상기 내관(200)의 외경을 상기 외관의 상단(a1)의 내경에 끼워맞춰 삽입한다.

[0046] 도 8 내지 도 9의 예시는 본 발명의 현장에서 작용을 설명하기 위하여 예시한 것이다.

[0047] 먼저, 지반(gr)이 도 8 A와 같은 초기 상태로부터 도 8 B와 같이 침하하여 캐비티(ca)가 발생하면, 도 9 A와 같이 충진부재(300)가 중력의 방향을 따라 아래로 하강 거동(f1)하여 상기 캐비티를 충진하기 시작한다. 이때, 상기 충진부재(300)에 의하여 상기 내관(200)의 하단이 떠받들여지고 있는 관계로, 상기 내관(200)은 상기 내관(200) 내부(110)의 상기 충진부재(300)의 하강을 따라 함께 아래로 하강 거동(f2)하게 된다.

[0048] 종국에는, 도 9 B의 예시처럼, 상기 충진부재(300)는 상기 캐비티(ca)를 충진하게 되고, 상기 캐비티(ca)를 충진하기 위해 빠져나간 충진부재(300)의 부피만큼 상기 내관(200)은 하강하여 어느 위치에 멈춰서 자리잡게

된다.

[0049] 일반적으로 상기 캐비티(ca)는 상기 내관(200) 하단의 단면적보다 훨씬 넓은 면적으로 발생하므로, 더 넓은 면적을 채우기 위하여, 상기 캐비티(ca)의 실제 깊이보다 상기 내관(200)의 하강 정도가 더 깊게 된다. 다시 말해서, 상기 내관(200)의 위치변동은 약간의 캐비티(ca) 발생에도 보다 민감하게 반응하여 지반(gr)침하를 빠르고 크게 반영할 수 있는 것이다. 여기에서, 발생한 캐비티(ca)의 부피는 도 9 B의 상단에 기재된 수학식과 같이 표시된다.

[0050] $$Vca = \pi*(d/2)^2*\Delta h$$

[0051] (Vca=캐비티부피; π=원주율; d=외관직경; Δh=내관높이변화)

[0052] 즉, 내관(200)이 쓸고 내려간 원기둥의 부피가 상기 캐비티(ca)의 부피가 되는 것이다.

[0053] 상기 내관높이변화는 상기 외관(100)을 매설하여 둔 장소에 직접 가서 확인하거나 또는, 도 2의 예시와 같이, 상기 내관(200)에 측침을 고정하여 설치하여 두고 통상의 수준측량을 실시하여 구할 수가 있다.

[0055] 도 10 내지 도 12는, 상기 내관(200)에 설치되는 상기 측침을 통하여 수준측량되는 방법의 보다 진보적이고 효율적인 실시례에 관한 것이다.

[0057] 본 발명의 측침은, 도 10 및 도 11의 도시와 같이 평소 수평으로 배치하여 두어서, 수직으로 배치한 상태의 것보다, 외부의 외력 가령, 바람의 영향, 물체의 충돌 등에 대하여 영향을 적게 받고 안전하게 유지되도록 평소에는 수평으로 바닥에 눕혀져서 제공되는 수평배치측침(400)이다.

[0058] 도 10에서 상기 수평배치측침(400)의 세부적인 구성에 있어서는, 구 형상을 취하는 금속 등의 질량체로 제공되는 무게추(410); 상기 무게추(410)로부터 수평으로 연장되는 레버(420); 및 상기 레버(420)의 단부에 신속하게 정보를 알리도록 부직포 또는 소프트한 부재의 깃발 등의 형태로 제공되어서 지면에 닿으면 접혀지는 표식(430);을 포함한다. 한편, 상기 무게추는 상기 내관(200)을 가압하여 상기 내관의 하강운동을 보충하여 돕는 역할도 수행한다.

[0060] 도 11에서 그 설치에 있어서는, 상기 내관(200)의 상단(b1)에 아래 방향으로 홈을 파서 만든 측침고정부(210)가 형성되고, 상기 측침고정부(210)에 상기 무게추(410)를 얹어 안착, 안정시킨다. 이에 따라, 상기 무게추(410)로부터 측면으로(옆으로) 상기 레버(420)가 눕혀져 지면위에 접촉하도록 배치된다. 상기 무게추(410)에 근접한 상기 레버(420) 몸통측 즉, 레버축(421)은 상기 외관(100)의 상단 입구테두리측의 외관입구(130)에 걸침을 갖도록 배치된다. 즉, 상기 외관입구(130)에 걸침을 갖는 상기 레버축(421)을 상기 레버(420)의 회전축으로 삼는 것이다. 여기에서, 상기 레버축(421)은 상기 무게추(410)의 인근에 자리하므로 상기 레버축(421)을 기준으로하여 상기 레버(420)의 몸통은 상기 무게축(410) 쪽의 매우 짧은 길이인 단축(z1)과 반대 쪽의 레버 몸통의 매우 긴 길이를 갖는 장축(z2)으로 구분된다.

[0062] 도 12에서 그 작용에 있어서는, 상기 레버축(421)이 상기 무게추(410)의 인근에 자리하므로 상기 무게추(410)의 약간의 하강운동 작용도 반대측의 상기 레버 몸통은 매우 큰 상승운동 작용의 움직임을 갖는다. 즉, 도 11 및 도 12처럼 단축(z1)의 작은 하강은 상기 레버축(421)을 회전축으로 하여서 장축(z2) 단부의 큰 상승(z3)을 일으킨다. 따라서, 약간의 캐비티(ca) 발생과 상기 캐비티(ca) 발생에 따른 미세한 상기 내관(200) 및 상기 무게추(410)의 하강 움직임에도 상기 장축(z3) 쪽 단부의 상승 움직임을 매우 증폭되어 나타나게 되어서, 신속하고 용이하게 변화를 관찰할 수가 있으며, 상기 상승(z3)된 각도를 측정하면 매우 정밀하게 상기 내관(200)의 하강정도와 상기 캐비티(ca)의 크기를 계산할 수 있는 것이다.

[0064] 상술한 바를 다르게 표현하여 정리하면,

[0065] 일단의 인근에 상하방향 회전축의 역할을 하는 레버축(421)을 갖는 레버(420); 상기 레버(420)의 일단에 구비되는 질량이 큰 무게추(410); 및 상기 레버(420)의 타단에 구비되며 접힘이 가능한 표식(430);을 포함하는 수평배치측침(400)을 준비한 후, 상기 무게추(410)를 내관(200)의 측침고정부(210)에 안착시키는 단계와,

[0066] 상기 무게추(410)가 상기 측침고정부(210)에 안착된 상태를 유지하며, 상기 수평배치측침(400)을 수평 자세로 기울여 상기 레버축(421)이 외관(100)의 외관입구(130)에 걸침이 되도록 하고, 상기 레버(420)를 지면에 접촉시켜 수평으로 배치되게 하는 단계와,

[0067] 지반침하가 발생하면, 상기 내관(200)의 움직임을 따라 상기 무게추(410)가 하강하는 단계와,

[0068] 상기 무게추(410)의 하강에 대하여 상기 레버축(421)을 중심으로 상기 레버(420)의 타단이 상승하고 이에 따라, 지면에 접촉하여 접혀진 상기 표식(430)이 펴지면서 상승하여 지반침하의 정보를 증폭하여 제공하는 단계를,

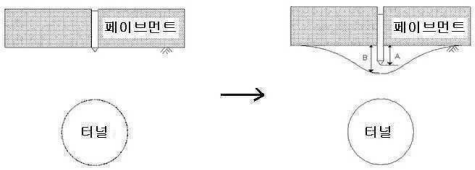
[0069] 포함하며, 이와 같이 상기 내관과 함께 하강하는 수평배치측침(400)을 통하여, 도 12의 예시처럼 약간의 캐비티(ca) 발생 및 미동의 내관(200) 움직임에도 지반침하의 정보를 신속하고 용이하게 발견할 수 있다.

부호의 설명

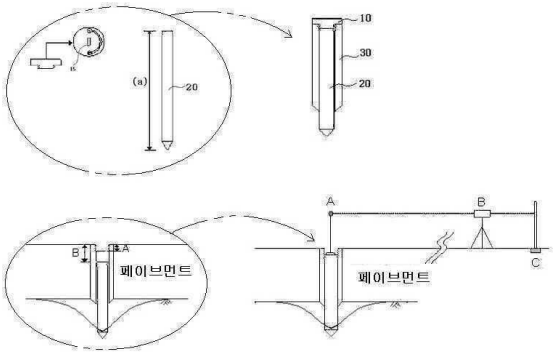
[0070] 보관용기(40); 캐비티(ca); 내관의 상단(b1); 내관의 하단(b2); 외관의 상단(a1); 외관의 하단(a2); 외관(100); 내부(110); 표시부(120); 내관(200); 측침고정부(210); 충진부재(300); 수평배치측침(400);

도면

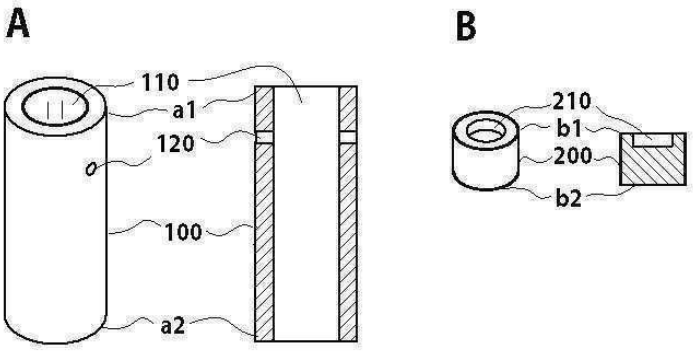
도면1



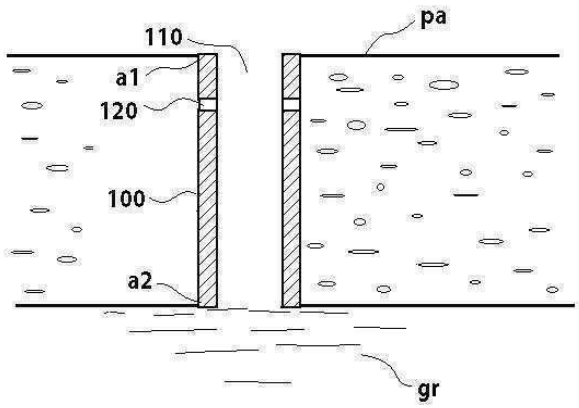
도면2



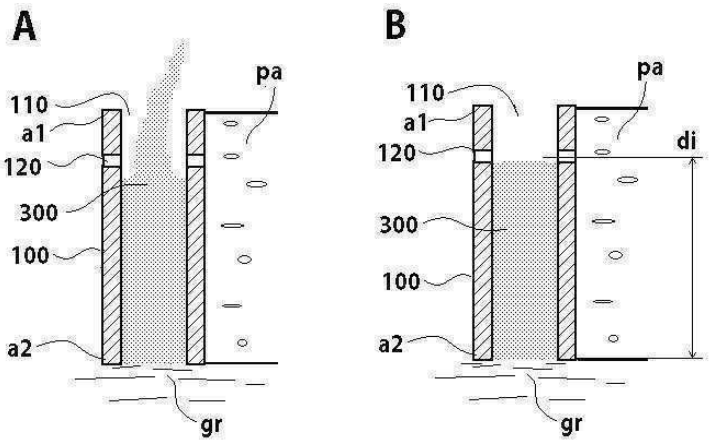
도면3



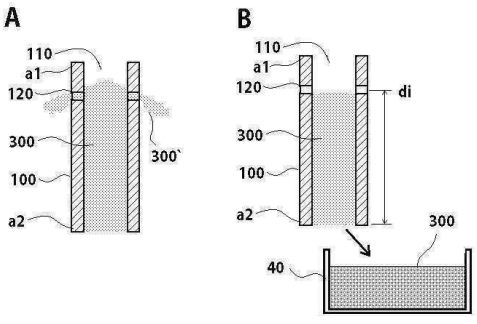
도면4


110
pa
a1
120
100
a2
gr

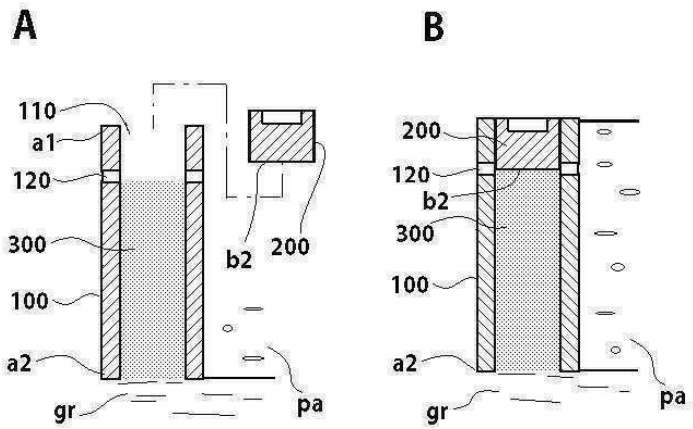
도면5


A
110
a1
120
300
100
a2
pa
gr
B
110
a1
120
300
100
a2
pa
di
gr

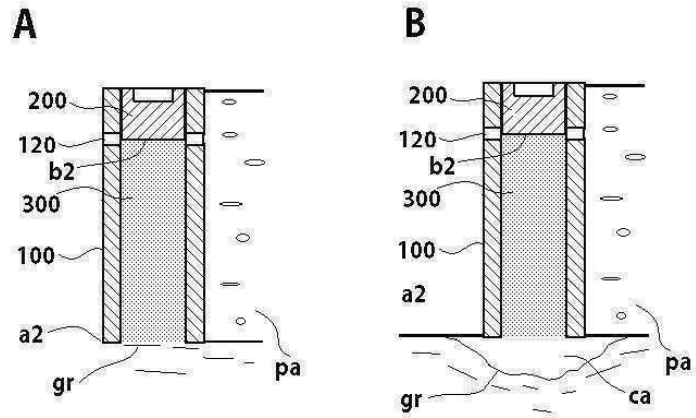
도면6


A
110
a1
120
300
100
a2
300`
B
110
a1
120
300
100
a2
di
300
40

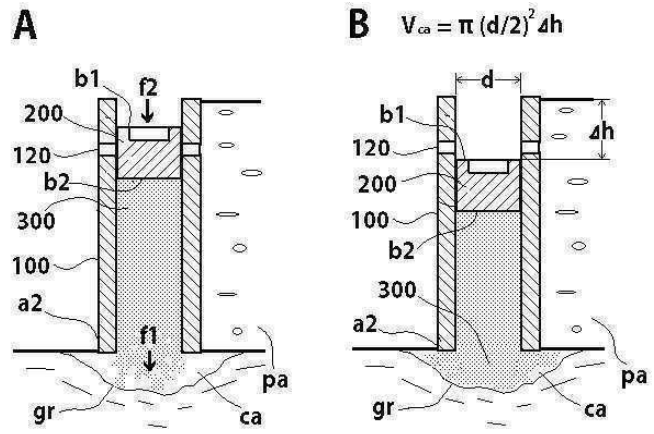
도면7


A
110
a1
120
300
100
a2
gr
b2
200
pa
B
200
120
b2
300
100
a2
gr
pa

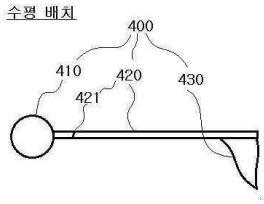
도면8


A
200
120
b2
300
100
a2
gr
pa
B
200
120
b2
300
100
a2
gr
ca
pa

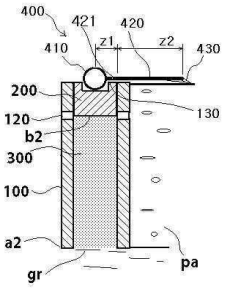
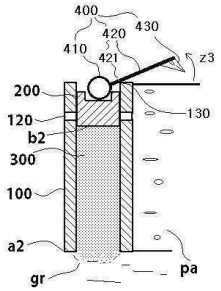
도면9


A
b1
f2
200
120
b2
300
100
a2
f1
gr
ca
pa
B
$V_{ca} = \pi (d/2)^2 \Delta h$
d
b1
120
200
100
b2
300
a2
Δh
gr
ca
pa

도면10



도면11



도면12