

연속압출공법(ILM)을 이용한 수저(水底)터널공법에 관한 연구.
**The Continuously Underwater Tunnelling Methods by Incremental Launching
Methods.**

정병률* 류동훈** 김준모***
Byung-Ryul, Jung Dong-Hun, Ryu Joon-Mo, Kim

ABSTRACT

We know the several construction methods for underwater tunnel, but properly submerged concrete box type tunnel was mostly good structure stability and mostly shot length of tunnels. Submerged box type tunnel was buildup the unit segments in dry dock or ship yard by 10 to 20meters. The submerged box was composed with segments was join each together. It was installing the gate and waterproofing the coupling the front hull of a box. The complete submerged box rise up to the surface water, tow in the submerged box by tugboat, going to the destination of tunnel construction site. Beforehand dredge up soil at the bottom of a underwater, sinking the submerged box, connection together complete submerged box in underwater. The research and development ILM tunneling method is receiving careful study. Biggest weakness in submerged concrete box type tunnel was pressure waterproofing, box to box connecting, complete submerged boxes navigation and installation, after operation the submerged tunnel and management concrete box structure. It was positive evidence in submerged concrete box type tunnel. We make a practical application of the principle “the ILM tunneling method in underwater construction methods.”

1. 서 론.

수저터널공법에는 다양한 공법이 있으나, 가장 연장이 짧고 구조적 안정성을 유지할 수 있는 공법이 바로 침매터널공법이다. 침매터널은 침매함을 조선소나 Dock시설이 되어 있는 제작 장소에서 약 10~20m정도의 각 단위 Segments들을 제작 후 이를 복수이상 연결하여 하나의 합체로 만든 후, 각 합체에는 격벽과 방수장치를 한다. 합체가 완성되면 이를 물위로 부양시키고, 예인선을 이용하여 터널의 설치장소로 수상에서 이동한다. 운반된 합체는 침매터널의 기 준설된 터널의 설치위치에 침하시켜 각 침매함을 연결하여 하나의 터널구조체로 하는 공법이다.

연구에서는 연속압출공법(ILM)을 이용한 수저터널공법을 실시함에 있어서 기존의 침매터널의 단점인 연결부의 단면의 취약성, 연결부 방수문제, 수상이동 및 설치문제점, 향후 관리 운영상의 문제점을 보완하기 위하여 교량구조물의 건설에 사용하는 연속압출공법(ILM)공법을 수저터널축조공법으로 응용하였다.

교량에서 사용하는 연속압출공법(ILM)공법 동바리 없이 상부구조(Super Structure)물을 설치하는 공법으로 적은 제작 장소에서 단면의 변화가 없이 일정하고 거푸집을 반복사용하고 구조물을 일체화할 수 있는 우수한 특징을 가지고 있는 공법이다.

또한 본 연구에서는 연속압출공법(ILM)공법을 실제 적용함에 있어서 예상되는 가장 큰 문제점인 직선 또는 단일 원 곡선만을 적용하여야 한다는 문제점을 발체하여 집중 연구하여 그 대책을 강구 하였다. 이로서 직선과 곡선이 만나는 선형문제를 해결하는 방안도 함께 강구하여 향후 본 연속압출공법(ILM)을 이용한 수저터널공법을 실제 교통터널로 적용함에 있어서 예상되는 평면상 종단상의 문제점을 해결하여 보다 안전하면서도, 건설이 쉽고, 경제적인 수저터널 공법을 창안 하고자 하였다.

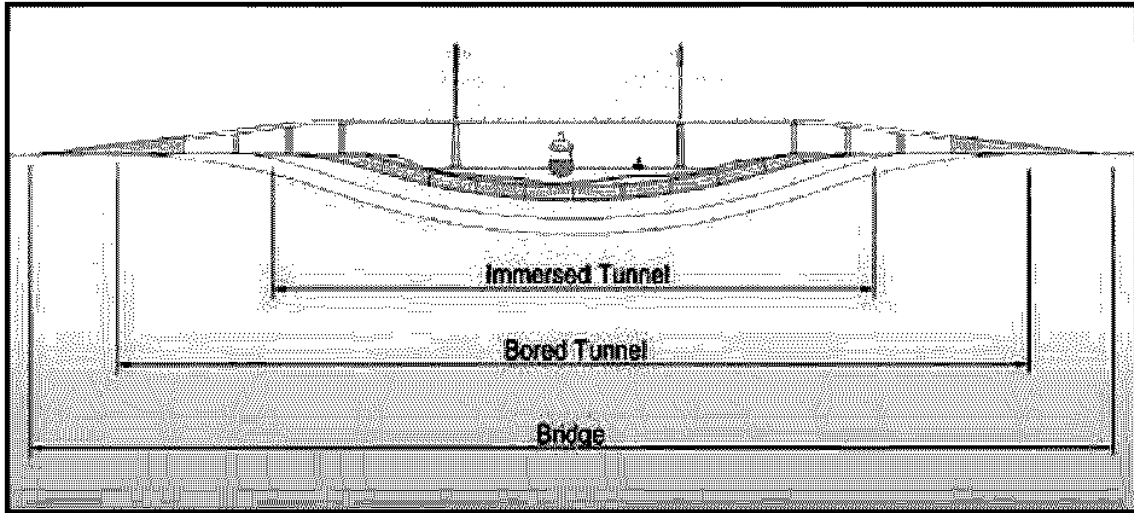


그림 1. 교량과 침매터널, 굴착 터널의 연장(길이) 비교.

2. 본 론.

강이나 호수, 바다, 만을 건너는 통행 수단으로서 교량이외에 수저 터널이 적용되어 사용되고 있다. 수저 터널은 교량에 비하여 수상 교통에 어떠한 장애를 주지 않는 장점이 있으므로 선호되지만, 시공에 많은 비용과 복잡한 시공 절차를 밟아야 하므로 널리 이용되지 못하는 한계가 있다.

수저 터널은 크게 굴착터널(bored tunnel)과 침매터널(immersed tunnel)로 나뉘는데, 굴착터널은 천공 및 발파 방법을 이용하거나, 터널굴착기계를 사용하여 땅을 굴착하고, 굴착에 의한 토사 등을 제거하면서 터널 굴착기계가 전진하면서 터널을 형성하는 것에 의해 제작되는 것으로서, 터널 굴착 기계로 차량이 통행하는 단면을 모두 굴착해야 하므로 시공에 오랜 시간과 높은 비용이 소요될 뿐만 아니라 수면으로부터 훨씬 멀리 떨어진 지점 사이를 연결하므로 비효율적인 문제가 있다.

이에 따라, 최근에는 수저지면에 누수되지 않는 터널을 시공하는 침매 터널이 널리 적용되는 추세에 있다. 일반적으로 침매 터널은 육지나 선박 상에서 중공부를 구비한 터널 블록을 제작한 후, 제작된 터널 블록을 선박을 이용하여 진수 위치로 운반한 후에, 해저 토양 상에 터널 블록을 가라앉히고, 가라앉은 터널 블록을 수중에서 이동시켜 방수 연결하는 것에 의해 제작된다.

그러나 이와 같은 침매 터널의 시공 방법은 선박을 이용하여 제작된 터널 블록을 운반하는 것이 번거로운 문제를 가지고 있을 뿐만 아니라, 무엇보다도 터널 블록을 수저 지면으로 가라앉힌 상태에서 각각의 터널 블록을 일일이 수중에서 상호 방수 연결해야 하는 까다로운 공정이 반드시 수반되므로, 시공에 높은 비용과 오랜 시간이 소요되었다. 더욱이, 수많은 터널 블록의 연결부가 완전히 방수 상태를 유지해야 하는데, 수중에서의 방수 작업이 현실적으로 매우 까다롭고, 시공 단계에서는 방수 연결을 하였다고 하더라도 연결부의 방수 상태가 완전하지 않아 침매 터널의 사용 중에 수압에 의한 누수가 발생되어 이를 시정하는 보수 보강공사에 높은 비용이 소요되는 후속적인 문제점들이 야기되었다.

이러한 문제점을 해결하고자 지상의 교량구조물축조에 사용하는 연속압출(ILM)공법을 수저터널 축조공법으로 이용하여 문제를 해결하고자 하였다.

2.1 기존 침매터널의 문제점과 해결하고자 하는 과제.

본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법은 상술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 수중의 지면에 설치되는 수저 터널을 시공함에 있어서, 수저에 설치되는 터널 블록의 방수 연결을 수중에서 행하는 것이 아니라 지상에서 제작과 함께 행함으로써, 시공 공정이 단순화되고 제작 비용이 저렴할 뿐만 아니라 무엇보다도 방수 신뢰성을 크게 향상시키는 수저 터널의 시공 방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

즉, 본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법의 목적은 수중에서 터널 블록을 수중에서 하나하나 연결

함에 따라 누수 문제가 발생되던 종래의 문제점을 해결함과 동시에 보다 간단한 공정과 낮은 비용으로 수저 터널을 시공하는 것이다.

2.2 기존 침매터널의 문제점 해결 수단.

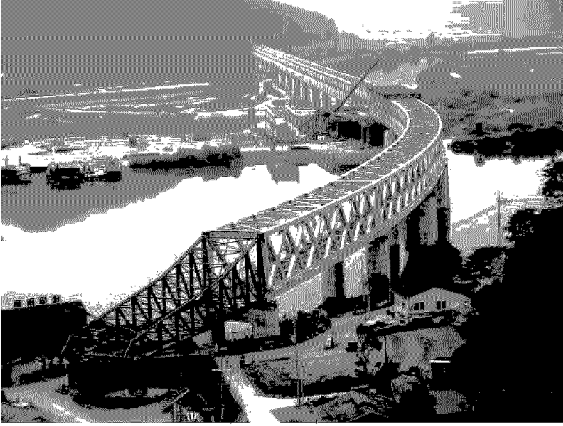


그림 2. ILM Steel Truss 교량.

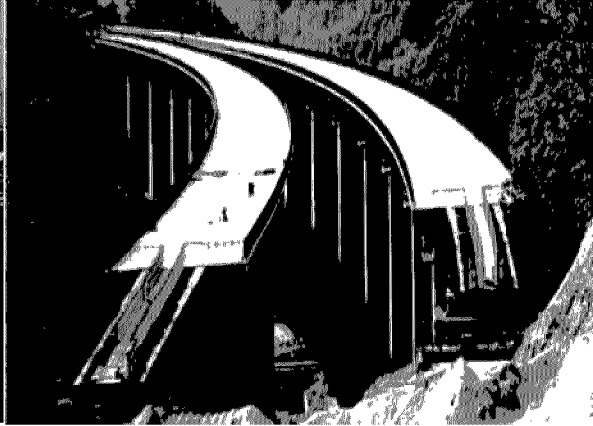


그림 3. ILM PSC 교량.

본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법은 상술한 바와 같은 기존 침매터널의 문제점을 해결하고 그 목적을 달성하기 위하여, 차량이 통행하는 2차원의 연속중공단면을 갖는 제1터널블록을 지상에서 제작하여 전진시키고, 상기 제1터널블록과 길이방향으로 연속하는 제2터널블록을 포함하는 다수의 터널블록이 순차적으로 연속하는 연속터널블록을 지상에서 제작하는 연속터널블록제작단계와; 터널의 경로에 따라 상기 연속터널블록이 배열되도록 상기 연속터널블록에 연속하는 터널블록을 연결 제작하면서 상기 연속터널블록을 압출 이동시켜 물속으로 침수시키는 연속터널블록 압출이동단계와; 상기 수저 터널의 경로가 상기 연속터널블록으로 모두 연결 배열되면, 상기 연속터널블록이 수저 지면에 안착하도록 상기 연속터널블록에 중량을 추가하는 단계와; 상기 중공부에 채워진 물을 배출시키는 단계를; 포함하여 구성된다.

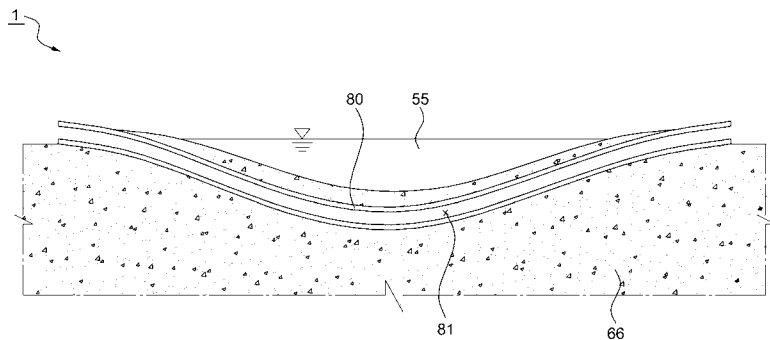


그림 5. 시공된 수저 터널의 형상을 도시한 개략도.

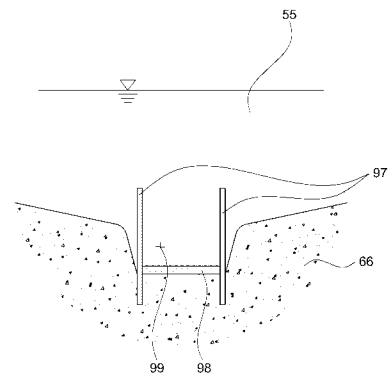


그림 4. 준설에 의해 수저터널안착부가 굴착된 개념도.

것을 특징으로 하는 수저 터널의 시공 방법을 제공한다.

이는, 터널 블록을 지상에서 제작하고 이를 수중에서 상호 연결하는 종래의 방식과 달리, 다수의 터널 블록이 상호 연속하게 연결되는 연속터널블록을 지상에서 제작하면서 동시에 이를 설치하고자 하는 수저 터널의 경로를 따라 수중으로 압출 이동시키는 것에 의하여, 터널 블록의 사이를 방수 연결하는 종래의 공정이 배제되고, 양 지점을 연결하는 터널이 하나의 몸체로도 형성되는 것이 가능해질 뿐만 아니라, 지상에서 제작하면서 압출 이동하는 방식으로 수저 터널을 연속터널블록으로 시공함에 따라, 까다로운

수중 방수 작업을 배제하여 공정의 효율을 도모할 수 있고, 시공된 수저 터널의 방수 특성을 현저히 향상시킬 수 있기 위함이다.

이 때, 상기 연속터널블록 압출이동단계는, 상기 연속터널블록이 수저 지면으로부터 이격되어 수중 부양 이동하도록 연속터널블록에 설치된 밸러스트(Ballast)에 미리 정해진 공기를 주입하는 공기주입단계와; 상기 수저 터널의 경로가 상기 연속터널블록으로 모두 연결 배열되면, 상기 밸러스트에 주입된 공기를 배출시키고 물로 채우는 단계를; 더 포함하여 구성됨으로써, 지상에서 제작하고 있는 연속터널블록이 수중에서 수저 지면에 간섭되지 않고 원활히 이동할 수 있으며, 시공이 완료된 상태에서는 밸러스트에 물이 채워짐에 따라 수저 터널의 중공부에 채워진 공기에 의한 부력으로 수저 터널이 부양하려는 것을 억제하는 것을 보조한다.

그리고 연속터널블록을 제작하는 단계에서는, 철근콘크리트 구조물인 상기 터널 블록에 미리 내설된 쉬스관 내의 긴장재를 포스트텐션 방식으로 잡아당겨 긴장시켜 철근 콘크리트 구조물에 긴장력을 미리 도입함으로써, 상기 연속터널블록에 자중이나 외력에 의하여 균열이 발생되지 않고 외력 등을 상쇄시킬 수 있게 된다.

또한, 상기 연속터널블록이 수저 터널의 경로를 따라 압출 이동되도록, 수저 터널의 경로를 따라 굴착선으로 수저 지면에 터널안착부를 요입 형성한다. 이를 통해, 수저 터널을 시공하는 과정에서 수저 지면의 노면이나 수저 지형이 평탄하지 않더라도 연속터널블록을 원활하게 압출 이동시킬 수 있다. 그리고, 상기 터널안착부의 바닥면에는 기둥을 박아 넣거나 자갈을 준설하는 지반공사를 행하여, 상기 수저 터널의 시공 이후에 상기 연속터널블록이 침하하지 않도록 할 뿐만 아니라, 압출 이동된 연속터널블록과 수저 지면 사이의 틈새를 자갈이 메워, 연속터널블록이 안정되게 거치되도록 한다.

그리고, 상기 터널안착부의 양측면에는 수중 부양 이동되는 상기 연속터널블록이 상기 터널안착부의 바깥으로 이탈하지 않으면서 압출 이동되도록 안내하는 안내기둥을 수저 지면에 고정시킨다.

한편, 상기 압출이동되고 있는 연속터널블록의 선단에는 상기 연속터널블록을 안내하는 노우즈(nose)가 설치되어, 연속터널블록의 선단면의 모서리가 주변 수저 지형에 간섭되어 전진하지 못하고 걸리는 것을 방지할 수 있다. 이때, 노우즈(Nose)는 그 선단이 꼭지점이 둥근 원추형으로 형성되는 것이 주변 지형과의 간섭을 최소화하는 측면에서 바람직하다.

한편, 상기 연속터널블록의 새롭게 연결되는 터널 블록은 미리 정해진 하나의 위치에서 상기 연속터널블록과 연속하도록 거푸집에 콘크리트를 타설하여 연결 제작되는 것이 좋다. 이를 통해, 거푸집을 계속하여 다시 사용할 수 있으며, 하나의 터널 블록을 제작한 후에 터널 블록의 길이만큼 압출시키고, 압출 이동된 연속터널블록의 후 단면에 연속하는 터널블록과 연속하도록 터널 블록을 현장에서 시공함으로써, 제작 및 압출 이동의 효율을 높일 수 있다.

이와 같이 제작되는 상기 수저 터널은 하나의 연속터널블록에 의해 강이나 호수, 바다, 만 등의 수저를 상호 연결할 수 있다. 연속적으로 압출 이동시키기 위해서는 상기 연속터널블록은 직선 형태로 연장되거나 그림 9.에 도시된 바와 같이 하나의 곡률 중심을 중심으로 곡률을 갖는 곡선 형태로 연장되기도 하며, 그림 10.에 도시된바와 같이 직선 형태와 곡선형태가 상호 결합되어 연장될 수도 있다. 이 경우에는, 수중에서 연속터널블록을 방수 연결시키는 공정이 전혀 필요하지 않으므로 방수 특성이 매우 우수한 장점이 얻어진다.

한편, 상기 수저 터널은 복수의 연속터널블록이 수중에 압출 이동되어 이들 복수의 연속터널블록을 수중에서 상호 연결하는 것에 의해 시공될 수도 있다. 이는, 수저 지형이 매우 복잡하고 준설선에 의해 터널 안착부를 형성하는 것이 용이하지 않은 경우에 적용된다. 다만, 수중 지형이 복잡하더라도 터널 블록을 하나하나 수중에서 방수 연결하는 것이 아니라, 지상에서 제작된 충분히 긴 길이의 연속터널블록을 수중에서 방수 연결하는 것이므로 종래에 비하여 수중 방수 연결 공정이 훨씬 최소화되는 장점이 있다.

한편, 본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법은 압출이동하는 상기 연속터널블록의 진행 방향의 변화가 있도록 제작될 수도 있다. 즉, 그림 10.에 도시된 바와 같이, 일정한 곡률을 갖는 제1연속터널블록으로 제작되다가 직선 형태의 제2연속터널블록으로 제작되고, 그리고 다른 곡률을 갖는 제3연속터널블록으로 진행 방향의 변화가 있게 제작될 수 있다. 이 경우에는 진행 방향의 변화가 있는 연속터널블록의 연결부

에는 탄력있는 가요성이음재(Flexible Joint)로 연결된다. 즉, 지상에서 연속으로 연결되는 연속터널블록을 제작함에 있어서 진행 방향의 변화가 있는 연속터널블록의 연결부에 미리 가요성 이음재를 부착해둠으로써, 연속터널블록의 진행 방향이 변경되는 부분에서 압출 이동 중에 큰 응력이 작용하여 균열이 발생되는 것을 방지할 수 있으며, 시공이 완성된 상태에서도 기밀성있는 누수 방지 효과를 얻을 수 있다.

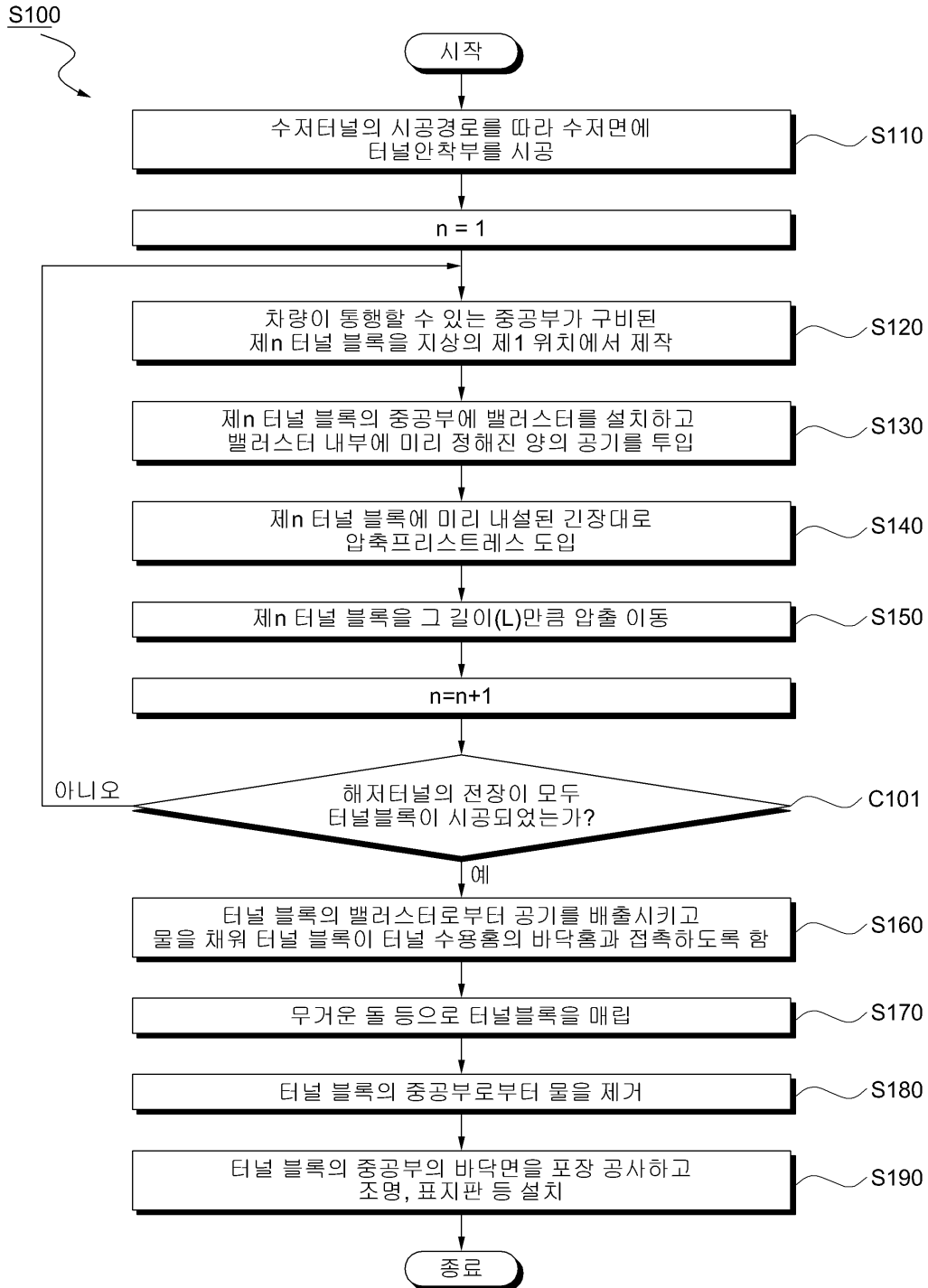


그림 6. 연속압출공법을 이용한 수저터널공법의 흐름도.

그리고 본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법은 연속터널블록을 수저의 지면에 거치되는 것에 한정되지 않으며, 그림 15.에 도시된 바와 같이, 터널의 설치 수심이 급작스레 깊어지는 경우에는 수저의 지

면으로부터 이격되게 설치된 연속터널블록의 영역이 포함될 수도 있다. 이 경우, 수저지면으로부터 이격되는 연속터널블록의 영역은 인장력을 수용하고 일단이 수저 지면에 고정된 재질의 부재로 고정됨으로써, 연속터널블록의 부력에도 불구하고 안정되게 위치 고정된다. 이 때, 인장력을 수용하는 재질의 부재란 케이블(cable)이나 말뚝(pile), 기둥(column), 바(bar) 등 중 어느 하나 이상의 부재로서 인장력만 받는 부재를 의미하는 것이 아니라 압축력을 함께 받을 수 있는 부재를 사용할 수도 있다.

2.3 연속압출수저터널을 실시를 위한구체적인 방법.

단계 1: 그림 5. 및 그림 6.에 도시된 바와 같이, 시공하고자 하는 수저 터널(1)의 시공 경로를 따라 준설선이 수면(55)을 이동하면서, 터널의 몸체가 되는 연속터널블록(80)이 위치할 터널안착부(99)를 수저 지면에 굴착하여 형성한다(S110).

이 때, 준설선이 터널 안착부(99)를 시공함에 있어서 암반이나 노두는 발파하여 터널 안착부가 터널의 시공 경로를 따라 형성하며, 그림 9.에 도시된 바와 같이 곡률중심(801)을 중심으로 일정한 곡률을 갖는 곡선 형태로 수저 터널을 형성하고자 한다면, 육지의 양 지점을 연결하는 터널 안착부(99)의 바닥면이 도6에 도시된 곡률을 이루도록 준설한다. 그리고, 그림 10.에 도시된 바와 같이, 수저의 경로에 따라 곡률 중심(8011)을 중심으로 일정한 곡률을 갖는 제1연속터널블록(810)과 직선 형태의 제2연속터널블록(820)과 또 다른 곡률 중심(8012)를 중심으로 하는 곡률을 갖는 제3연속터널블록(830)이 연속한 형태의 연속터널블록(80')으로 수저 터널(1)을 형성하고자 한다면, 육지의 양 지점을 연결하는 터널 안착부(99)의 바닥면이 그림 10.에 도시된 곡률 및 직선 등의 윤곽에 따라 준설한다.

그리고 나서, 터널안착부(99)의 바닥면에는 파일(Pile)을 심고 자갈층(98)을 포설하여 평탄하게 지반 공사를 행함으로써, 수저 터널이 시공 완료된 상태에서 수저 지형(66)의 지면이 변동되어 수저 터널이 파손되는 것을 방지하고, 또한 연속터널블록(80)의 압출 이동시 해저 지형(66)에 의해 간섭되지 않도록 한다. 또한, 터널 안착부(99)의 양측에는 연속터널블록(80)이 수중 부양되면서 압출 이동되는 동안에 연속터널블록(80)이 시공하고자 하는 터널 경로의 횡방향으로 이탈하는 것을 방지하기 위하여, 안내기둥(97)이 수저 지면에 일정 깊이만큼 박힌 상태로 고정된다.

단계 2: 한편, 지상에서는 차량이 통행하는 중공부(81) 단면을 갖는 다수의 터널 블록(80a-80f)이 순차적으로 연속하게 일체 형성된 연속터널블록(80)을 제작한다(S120).

보다 구체적으로는, 그림 7.에 도시된 바와 같이, 미리 정해진 제1위치(77)에서 거푸집을 설치하여 중공부(81)를 구비한 철근 콘크리트 구조물인 제1터널 블록(80a)을 제작한 후, 제작된 제1터널 블록(80a)을 압출용 유압잭(120)의 끝단(120a)으로 제1터널블록(80a)의 길이만큼 전방으로 밀어내어 압출 이동시킨다. 이 때, 그림 9.에 도시된 형태의 수저 터널을 제작하고자 한다면, 제1터널블록(80a)은 도면부호 802로 표시된 하향 경사를 갖도록 수중에 침수되어야 하므로, 침수되는 터널 블록(80a-80f)의 경사도(α)를 조절하는 경사조절장치(110) 상에서 제1터널블록(80a)이 시공되고, 경사조절장치(110)의 경사조절면(111)과의 사이에는 제1터널블록(80a)이 원활하게 미끄럼이동되도록 슬라이딩 패드(33)가 개재(介在)된다.

여기서, 경사조절장치(111)의 경사조절면(111)은 스트로크가 조절가능하고 단부에 롤러(112a)가 구비된 유압잭, 유압실린더(112)에 의해 경사조절된다.

그리고 나서, 제1터널블록(80a)이 압출 이동된 원래의 제1위치(77)에 다시 거푸집을 설치하고, 제1터널블록(80a)의 후면과 연속하는 제2터널블록(80b)을 제작한 후, 마찬가지로 압출용 유압잭(120)으로 제2터널블록(80b)을 전방으로 밀어내어 압출 이동시킨다. 이와 같은 과정을 반복하는 것에 의하여, 제1터널블록(80a)으로부터 제6터널블록(80f)에 이르기까지 연속하는 다수의 터널 블록(80a-80f)으로 이루어진 연속터널블록(80)을 제작하면서 전방으로 압출 이동시킬 수 있게 된다. 이 때, 터널의 경로에 따른 연속터널블록(80)의 기울기에 따라 경사조절장치(110)의 기울기(α)도 함께 조절되면서, 도8에 도시된 바와 같이 연속터널블록(80)은 수중으로 침수하게 된다.

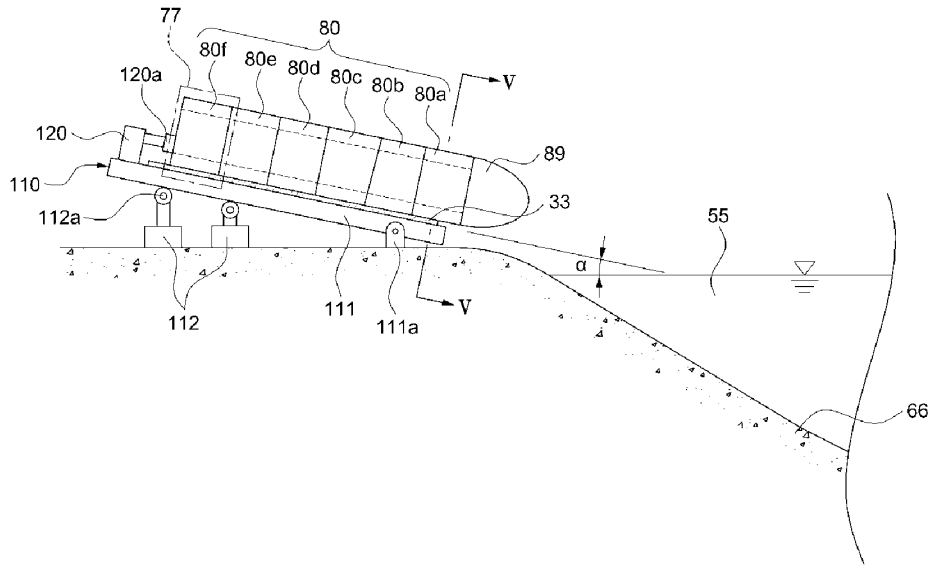


그림 7. 지상에서 터널블록이 연속하게 연결 제작된 연속터널블록을 제작하면서 수중으로 침수시키면서 압축 이동하는 구성을 도시한 개념도.

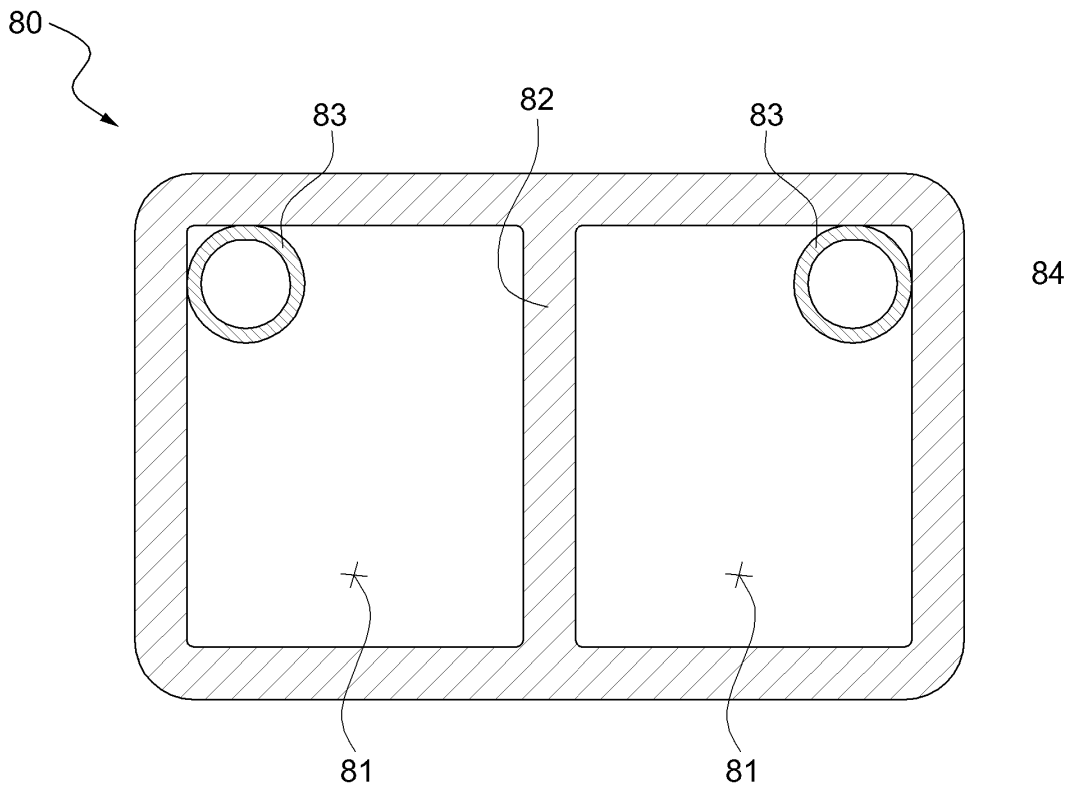


그림 8. PSC BOX Tunnel의 V-V에 따른 단면도(그림 7.)

단계 3: 연속터널블록(80)을 이루는 다수의 터널 블록(80a-80f)은 도5에 도시된 단면을 갖는다. 즉, 격벽(82)을 중심으로 서로 다른 방향으로 차량이 통행하도록 나뉘는 2개의 중공부(81)가 형성되며, 지상에서 제작되고 있는 연속터널블록에 설치된 밸브의 개폐에 의하여 물을 유입시키거나 공기를 채우는 밸러스터(83)가 구비된다.

따라서, 수저 터널(1)의 경로를 따라 연속터널블록(80)을 수중으로 압출 이동하는 동안에 연속터널블록(80)이 터널안착부(99)의 바닥면과 접촉하면, 연속터널블록(80)이 원활하게 이동하지도 않을 뿐 아니라 파손될 우려도 있으므로, 연속터널블록(80)에 구비된 밸러스터(Ballast)(83)에 미리 정해진 양의 공기를 주입하여 도9에 도시된 바와 같이 수중에서 압출이동하는 연속터널블록(80)이 수저 지면으로부터 이격된 부양 상태가 유지되도록 한다(S130).

단계 3은 단계 2와 독립적으로 행해지는 것이 아니라 단계 2와 연계되어 함께 행해지는 것으로서, 단계 2에서 제작된 연속터널블록(80)이 수중으로 침하되는 정도에 따라 밸러스터(Ballast)(80)에 유입되는 공기의 양도 함께 조절된다.

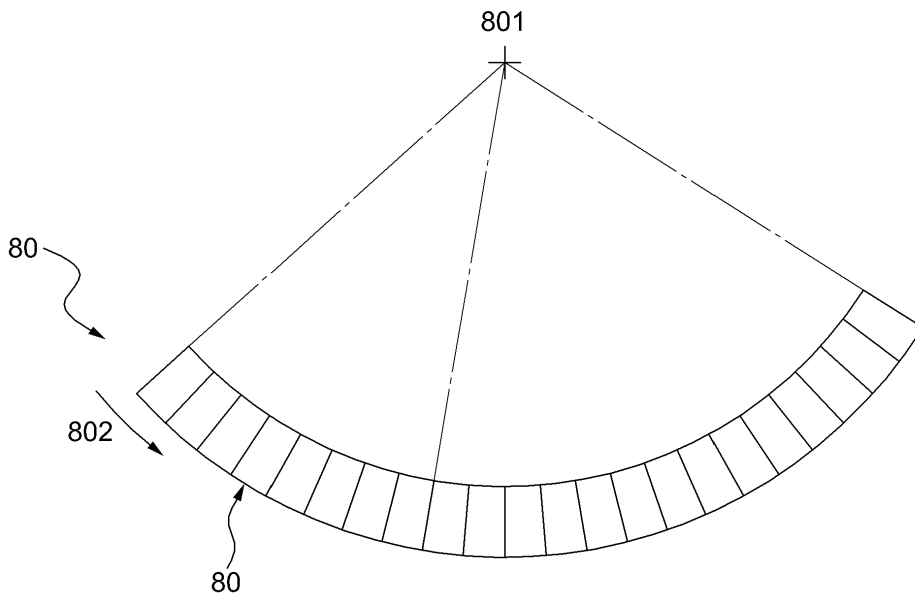


그림 9. 제작되는 또 다른 형태의 연속터널블록의 곡선연결형상도.

단계 4: 한편, 수저 터널(1)을 이루는 연속터널블록(80)은 철근 콘크리트 구조물로 제작된다. 일반적으로 콘크리트는 압축력에는 큰 하중을 견딜 수 있지만 인장력에는 큰 하중을 견디지 못하므로 철근을 보강하거나 이에 부가하여 공용 중 작용하는 인장력을 상쇄시키는 압축 프리스트레스를 미리 한다. 이에 따라, 본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법의 일 실시예에 따른 수저 터널(1)을 이루는 연속터널블록(80)도 마찬가지로 긴장재의 긴장에 의해 압축 프리스트레스가 미리 도입된다(S140).

이를 보다 구체적으로 살펴보면, 예를 들어, 제3터널 블록(80c)이 제작될 당시에는 제3터널 블록(80c) 내에는 긴장재(86)를 내부에 수용하는 쉬스관이 미리 매설되어 후방으로 돌출된 상태로 유지되고, 거푸집이 설치되는 제1위치(77)에서 그 다음에 시공되는 제4터널블록(80d)을 제작한 이후에 제3터널블록(80c)과 제4터널블록(80d)을 상호 연결하는 긴장재(86)를 긴장하여, 제3터널블록(80c)과 제4터널블록(80d)을 보다 견고하게 연결시키면서 콘크리트 구조물에 압축 프리스트레스가 도입될 수 있게 된다. 이와 같은 공정은 제4터널블록(80d)과 제5터널블록(80e) 등에도 순차적으로 동일하게 적용된다.

이를 통해, 연속적으로 연결 제작되는 연속터널블록(80)은 길이 방향으로 긴장재(86)의 긴장에 의하여 미리 압축 프리스트레스가 포스트텐션 방식으로 도입되며, 이에 따라, 연속터널블록(80)이 수중으로 침수되어 압출 이동하는 중에 작용하는 외력이나 시공 완료 후 작용하는 외력에 대하여 효과적으로 잘 견딜 수 있다.

단계 4는 단계 3과 마찬가지로 단계 2와 독립적으로 행해지는 것이 아니라 단계 2와 연계되어 함께

행해지는 것으로서, 단계 2에서 제작된 연속터널블록(80)이 수중에서 압축 이동하는 동안에 새롭게 연결 제작되는 터널 블록에 대해서는 압축 프리스트레스가 지상의 제작장에서 도입된다.

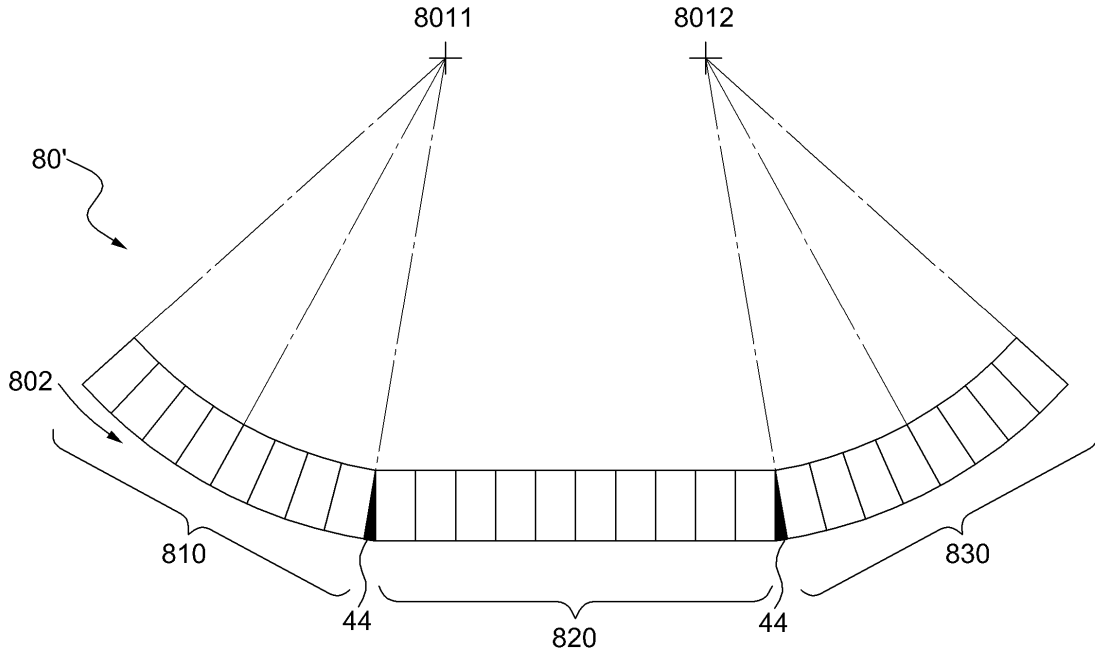


그림 10. 수중의 터널블록이 잠수상태에서 압축이동되고 있는 구성을 도시.

단계 5: 시공하고자 하는 수저 터널(1)의 수저 경로의 윤곽에 따라, 도6에 도시된 곡선 형태로만 이루어진 연속터널블록(80)이나 그림 10.에 도시된 바와 같이 직선 형태와 곡선 형태가 병행하여 연속터널블록(80')을 제작하면서, 이들 연속터널블록(80,80')이 수중 부양 상태로 연결하고자 하는 육지 사이의 수저를 모두 통과할 때까지 단계 2 내지 단계 4를 반복하여 압축 이동시킨다(S150).

여기서, 그림 10.에 도시된 바와 같이 연속터널블록(80')의 진행 방향이 변경되는 경우에는 변경되는 지점에 탄력을 갖는 가요성 이음재(flexible joint, 44)가 지상에서 연속터널블록(80')의 제작 당시에 미리 설치됨으로써, 연속터널블록(80')이 수중에서 압축 이동되는 경우에 집중 응력이 작용하는 것을 방지할 수 있으며, 완전히 시공된 상태에서 진행방향이 변경되는 연결부에서 누수될 가능성을 완전히 제거할 수 있다.

이 때, 연속터널블록(80)이 전방으로 압축 이동하는 과정에서 주변의 수저 지형이나 정해진 경로로 이동하는 것을 안내하는 안내기둥(97)과 간섭되지 않도록 꼭지점이 곡면으로 형성된 원추형 노우즈(89)가 연속터널블록(80)의 선단부에 장착된다. 그리고, 연속터널블록(80,80')이 수저 터널의 경로를 모두 통과하면, 노우즈(89)를 연속터널블록(80)의 선단으로부터 제거한다.

단계 6: 그리고 나서, 수중 부양 상태로 터널안착함(99)에 배열된 연속터널블록(80)의 벨러스터(83)의 밸브를 개방하여, 벨러스터(83) 내부의 공기를 배출시키고 벨러스터(83)의 내부(83a)에 물이 유입되도록 한다. 이에 의하여, 그림 12.에 도시된 바와 같이, 연속터널블록(80)은 공기의 부력에 의한 영향을 더 이상 받지 않게 되므로 터널안착함(99)의 바닥면으로 서서히 내려와 안착된다(S160).

단계 7: 그리고 나서, 그림 14.에 도시된 바와 같이, 안내 기둥(97)을 연결하는 횡방향의 들뜸 억제용 부재(96)를 설치한 후, 연속터널블록(80)의 중공부(81)에 가득찬 물이 배출되더라도 연속터널블록(80)이

수중에서 부양하지 않도록, 터널안착홈(99)의 바닥면(99)에 안착된 연속터널블록(80)에 토사(76)를 덮은 후 중량이 큰 돌, 암석 등의 중량물(77)로 덮어 중량을 부가한다(S170).

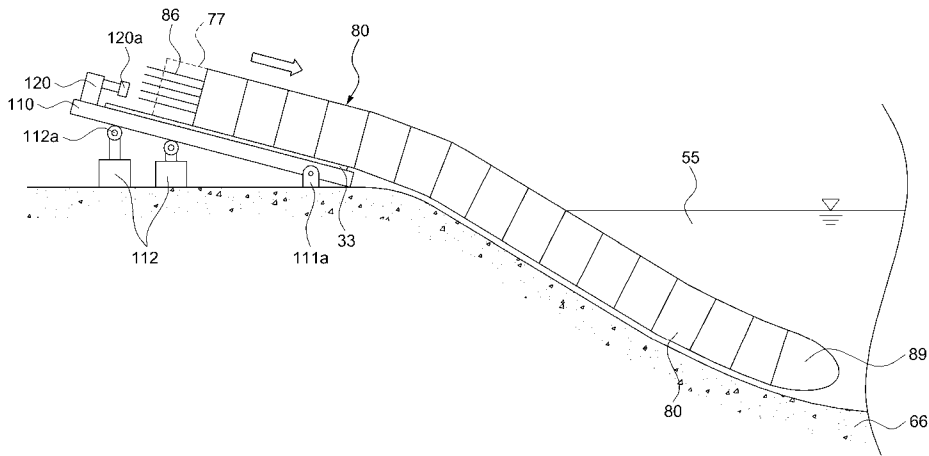


그림 11. 연속터널블록이 침수되어 압축이동되고 있는 구성도.

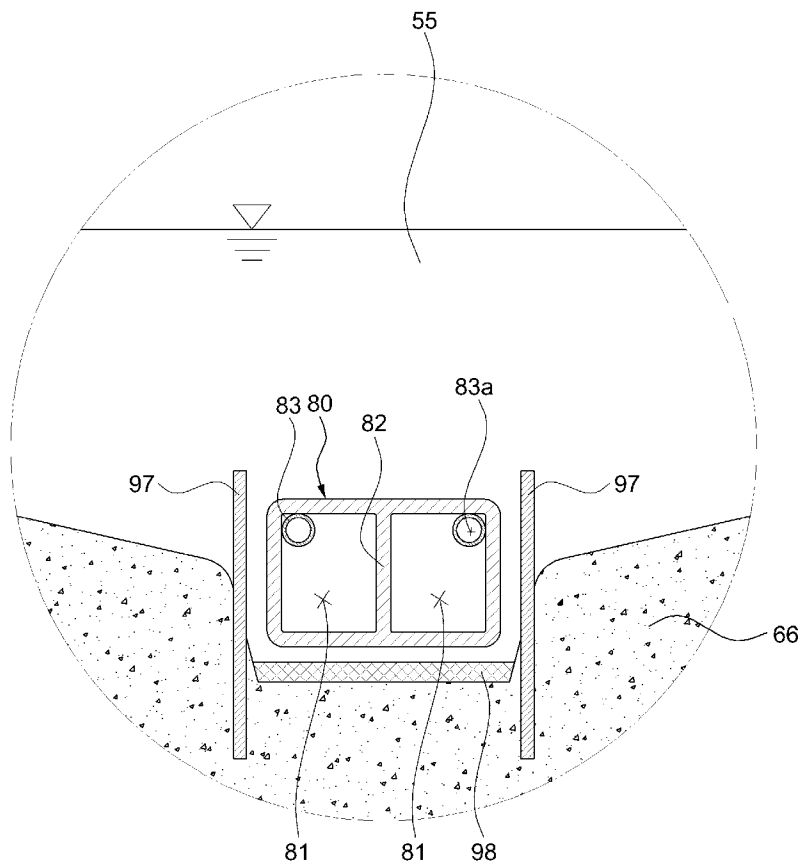


그림 12. 제작장의 압출력과 연속터널블록내 밸러스트(Ballast)에 의하여 수중부양 이동되는 모습을 도시.

단계 8: 그 다음, 연속터널블록(80)의 중공부(81)에 채워진 물을 배출시켜, 연속터널블록(80)의 중공부(81)에서는 수중장비가 없더라도 작업할 수 있는 환경이 된다(S180).

단계 9: 그리고 나서, 연속터널블록(80)의 중공부(81)에 차량이 통행할 수 있도록 바닥면을 포장공사하

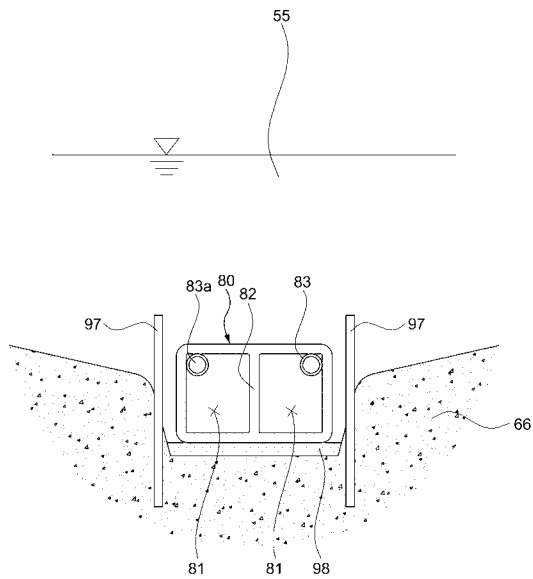


그림 13. 연속터널블록의 벨러스트에 공기를 배출시켜 터널안착부에 연속터널블록을 침지시킨 상태를 도시한 단면도.

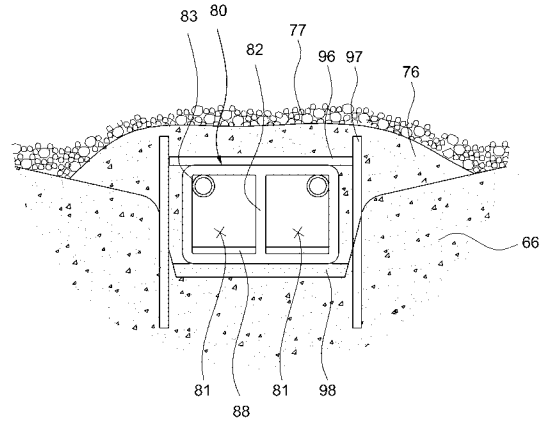


그림 14. 연속터널블록에 자갈 등의 무거운 중량을 가하여 수저 터널을 완성한 상태를 도시한 단면도.

고, 조명이나 표지판 등을 설치하여 수저 터널(1)의 제작을 완료한다 (S190).

상기와 같이 본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법은 다수의 터널 블록(80a-80f...)이 상호 연속하게 연결되는 연속터널블록(80)을 지상에서 제작하면서 동시에 이를 설치하고자 하는 수저 터널의 경로를 따라 수중으로 부양하여 압출 이동시키는 것에 의하여 원하는 터널 경로에 터널블록을 외부의 물에 방수 되도록 설치할 수 있도록 함으로써, 종래에 오랜 시간과 비용이 소요되고 작업이 까다로운 수중 방수 연결 공정을 배제할 수 있게 되므로 보다 저렴하고 신속하게 수저 터널을 시공할 수 있게 된다.

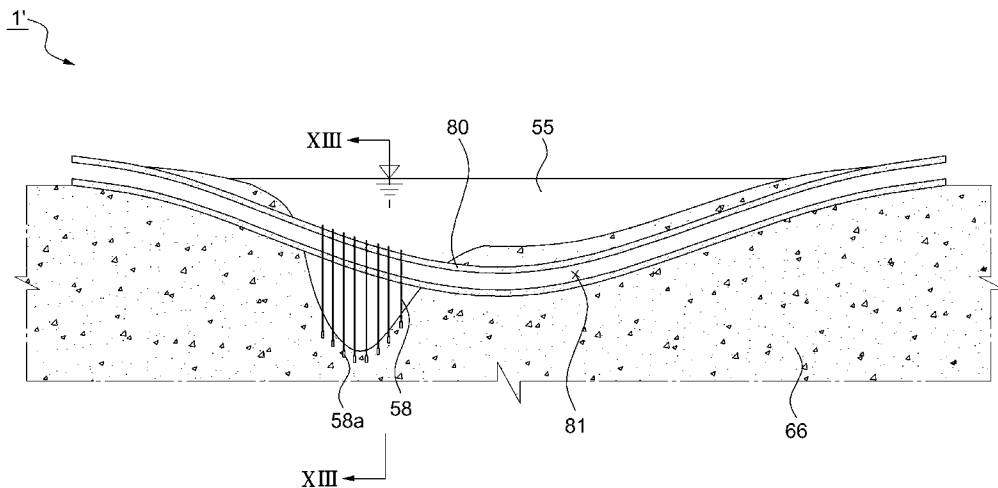


그림 15. 수저지면으로부터 이격되게 거치된 수저 터널의 형상을 도시한 개념도.

또한, 본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법은 모든 터널 블록을 지상 실내에서 연결 제작하므로, 터널을 이루는 터널 블록이 기후나 날씨에 영향을 받지 않고 균일한 품질 상태를 구현할 수 있게 된다. 특히, 본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법에 따른 수저 터널의 시공 방법은 거푸집을 반복하여 사용할 수 있으며, 별도의 가설 공사나 동바리 등의 설비가 필요하지 않아 제작 공종이 간단해지며, 무엇보다도 연속터널블록은 일체화된 하나의 연속 구조체이어서 이음 장치나 이음부가 없으므로 불연속면이

존재하지 않아 종래 기술에 의해 제작된 것에 비하여 훨씬 견고하고 튼튼한 수저 터널을 시공할 수 있게 된다.

한편, 그림 15. 및 그림 16.에 도시된 바와 같이, 멀리 떨어진 육지를 수저 터널(1')로 연결하는 경우에는 해저 지면이 일정한 굴곡을 갖는 것이 아니라 급작스럽게 깊은 구간이 존재하게 된다. 이 때, 도1에 도시된 수저 터널(1)을 제작하고자 한다면, 굴착선으로 터널수용부(99)를 준설하는 작업이 매우 까다로워진다.

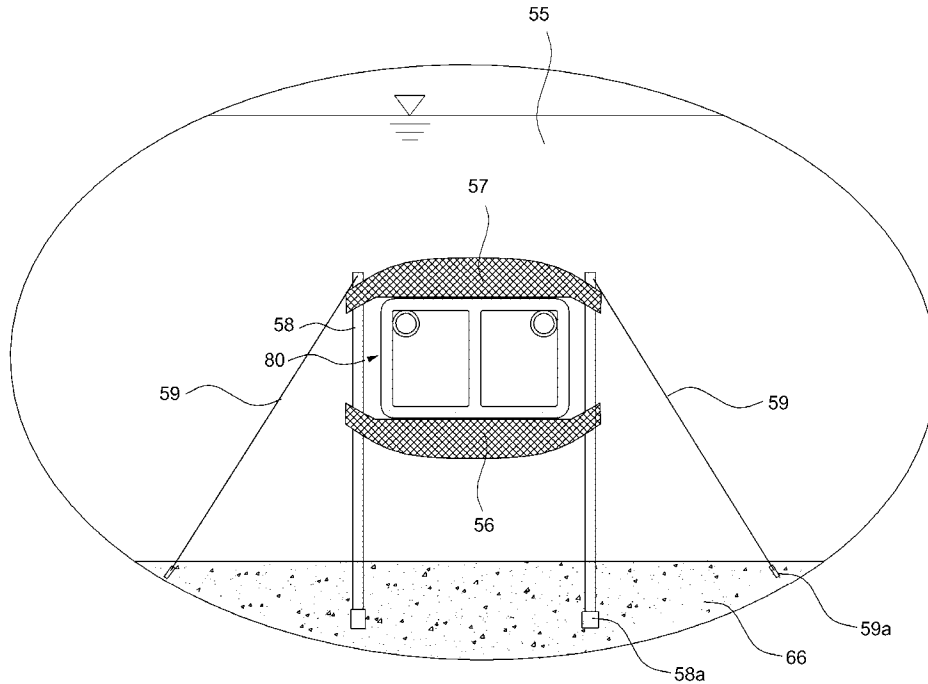


그림 16. 수저지면으로부터 이격되게 거치된 수저 터널의 형상을 도시한 개념도.

이 경우에는, 그림 15. 및 그림 16.에 도시된 바와 같이, 급작스럽게 깊은 구간에서의 연속터널블록(80)은 수저의 지면으로부터 이격된 상태를 유지하도록 설치된다. 보다 구체적으로는, 일단이 수저의 지면에 견고하게 고정되도록 수저 지면에 묻힌 지지부(58a)에 고정된 고정 부재인 기둥(58)에는 연속터널블록(80)의 상면과 하면에 각각 접촉되게 고정된 고정 덮개(57)와 고정 받침대(56)가 고정되고, 연속터널블록(80)은 고정 받침대(56) 및 고정 덮개(57)에 결속되거나 부착된다. 수저의 지면으로부터 이격된 연속터널블록의 영역을 보다 안정적으로 고정하는 것을 지지하기 위하여, 기둥(58)의 자유 상단으로부터 케이블(59)이 대각선 방향으로 경사지게 연장되어 수저의 지면에 앵커(59a)에 의해 고정된다. 이를 통해, 수저의 지면으로부터 이격된 연속터널블록(80)의 영역은 기둥(58)에 의해 이동이 구속되므로 주위 유동에도 불구하고 견고하고 안정된 고정 상태를 유지할 수 있다. 본 발명의 실시 예에서는 육지를 연결하는 수저 터널이 하나의 연속터널블록(80,80')에 의해 시공되는 것을 예로 들어 설명하였지만, 본 발명은 이에 한정되는 것은 아니며 하나의 수저 터널이 서로 분리된 수개의 연속터널블록에 의해 연결 시공되는 것도 포함한다. 이 경우에는, 본 발명은 일정 구간 별로 연속터널블럭단위로 잠수 또는 침수 압출 이동시키는 방식으로 제작하기 때문에, 터널 블럭 각각을 일일이 수중에서 밀봉 연결해야 하는 종래 기술에 비하여, 수중 밀봉 연결 작업의 횟수가 현저히 줄어들어 작업의 효율이 높아지고 동시에 누수될 가능성이 낮아지는 장점을 얻을 수 있다. 이는, 수저 지형이 복잡하여 상하좌우로 곡률이 복잡한 경우에 적용될 수 있으며, 이들 연속터널블록은 수밀성을 보다 향상시키기 위하여 가요성 이음재(Flexible Joint)로 상호 연결된다.

2.4. 기대효과.

이상 설명한 바와 같이, 본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법은, 차량이 통행하는 중공부 단면을 갖는 제1터널블록을 지상에서 제작하여 전진시키고, 상기 제1터널블록과 길이방향으로 연속하는 제2터널블록을 포함하는 다수의 터널블록이 순차적으로 연속하는 연속터널블록을 지상에서 제작하는 연속터널블록제작단계와; 터널의 경로에 따라 상기 연속터널블록이 배열되도록 상기 연속터널블록에 연속하는 터널블록을 연결 제작하면서 상기 연속터널블록을 압출 이동시켜 물속으로 침수시키는 연속터널블록 압출이동단계와; 상기 수저 터널의 경로가 상기 연속터널블록으로 모두 연결 배열되면, 상기 연속터널블록이 수저 지면에 안착하도록 상기 연속터널블록에 중량을 추가하는 단계와; 상기 중공부에 채워진 물을 배출시키는 단계들; 포함하여, 다수의 터널 블록이 상호 연속하게 연결되는 연속터널블록을 지상에서 제작하면서 동시에 이를 설치하고자 하는 수저 터널의 경로를 따라 수중으로 압출 이동시키는 것에 의하여, 터널 블록의 사이를 수중에서 방수 연결하는 종래의 공정을 배제시킬 수 있으므로, 수저 터널이 하나의 몸체인 연속터널 블록으로 연결될 수 있게 되어, 시공이 간단하고 저렴하며 향상된 방수 특성을 구현하는 수저 터널의 시공 방법을 제공한다.

표 1. 침매터널과 ILM터널의 장단점 비교.

item	침매터널	ILM터널
장점	<ul style="list-style-type: none"> ● 단면 변화가 가능. ● 평면 종단선형 변화가능. 	<ul style="list-style-type: none"> ● 품질우수, 연속구조. ● 단면균일, 방수보강 불필요. ● 공정이 단순,용이,공기단축. ● 제작공장은 제작 및 추진. ● 경제성, 안전성이 높다. ● 잠수부, 잠수장비가 불필요. ● 부상방지 Anchoring이 불필요. ● 수저면안착, 수중교량 등 형식적구속이 없음. ● 축조 시 해상교통장애가 없음.
단점	<ul style="list-style-type: none"> ● Segment별 분리된 구조. ● 해상운송, 기후의 영향. ● 투하설치가 난이. ● 접속부방수, 보강이 필요. ● 경제성, 안정성이 취약. ● 잠수부, 잠수장비 사용. ● 부상방지 Anchoring이 필요. ● 수저저면에 안착시켜야 함. ● 축조 시 해상교통장애 유발. 	<ul style="list-style-type: none"> ● 단면 변화가 어렵다.

즉, 본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법은 수중의 지면에 설치되는 수저 터널을 시공함에 있어서, 수저에 설치되는 터널 블록의 방수 연결을 수중에서 행하는 것이 아니라 지상에서 제작과 함께 일체로 연결을 함으로써, 수저 터널의 시공 공정이 단순화되고 제작 비용이 저렴해질 뿐만 아니라 시공 직후와 장시간 동안의 사용 중에도 차량이 통행하는 중공부로의 누수를 신뢰성있게 방지할 수 있는 수저 터널의 시공 방법을 제공한다.

또한, 본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법은 고가의 수중 방수 연결 작업을 제거함에 따라, 보다 간단한 공정에 의하여 저렴하게 수저 터널을 시공할 수 있도록 한다.

특히, 본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법에 따른 수저 터널의 시공 방법은 거푸집을 반복하여 사용할 수 있으며, 별도의 가설 공사나 동바리 등의 설비가 필요하지 않아 제작 공종이 간단해지며, 무엇보다도 연속터널블록은 일체화된 하나의 연속 구조체이어서 이음 장치나 이음부가 없으므로 불연속면이 존재하지 않아 종래 기술에 의해 제작된 것에 비하여 훨씬 견고하고 튼튼한 수저 터널을 시공할 수 있도록 한다.

3. 결 론.

본 연구에서는 기 시공하였거나, 시공하고 있는 침매터널의 현황과 문제점을 확인 하였다. 또한 기존 침매터널의 문제점을 보완하여 새로운 공법을 개발하였다. 그에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) 기 시공하였거나, 시공하고 있는 침매터널은 물속에서 압력을 받고 있는 구조물로 이음부의 수밀성과 방수가 문제가 되며 침매합체와 합체간의 이음부분에 대한 각별한 시공관리와 더불어 운영상 세심한 관리를 요구하게 된다.
- 2) 본 연속압출공법을 이용한 수저터널공법은 지상에서 터널구조물을 제작과 함께 일체로의 연결을 함으로써, 수저 터널의 시공 공정이 단순화되고 시공비용이 저렴해질 뿐만 아니라 방수 및 누수를 확고하게 방지할 수 있는 수저터널공법을 제공한다.
- 3) 구조물의 축조와 이동은 육상교량의 상부구조물 축조에 사용하는 ILM공법을 이용하였고 구조물을 수저로 압출하여 이동시킴으로 인하여 구조물이 물속에서 터널 시공법으로 전환하여 물의 부력과 비중을 이용하고 수저의 지중과 수중에 을 막론하고 설치될수 있다는 특징과 장점이 있다.
- 4) 본 수저터널공법은 기상의 영향과 해상의 영향을 다른 공법에 비하여 제약조건에 대하여 자유로우며, 본 공법을 적용할 경우 수상의 교통에 아무런 지장을 주지 않는 장점이 있다.

수저터널은 지상에 설치되는 터널과 달리 유체의 압력과 속도 등, 제약조건이 현저히 많은 터널을 시공하여야 한다는 점에서 수저터널의 설계와 시공에 있어서 본 공법이 새로운 대안이 될 수 있는 경제적이고 안전한 공법이라 사료된다.

참고문헌

1. 신희순 (2009), “해저터널개발”, 한국지구시스템공학회 Vol. 46, No. 1 pp125-133.
2. 오창국 (2000), 서울대학교 대학원 토목공학과, “부유식터널 파랑하중 응답 해석”, pp1~6.