

해수 염기 침투방지를 위한 항만구조물 보수보강용 물배출 앵커 및 트랩볼트 개발에 관한 연구

옥종호^{1*}, 문상덕¹, 이화선²

¹서울과학기술대학교 건축학부, ²주식회사 엠티마스타

Developing a water discharge anchor & trap bolt to prevent basic salt from penetrating to harbor structures

Jong-Ho Ock^{1*}, Sang-Deok Moon¹, Hwa-Sun Lee²

¹Department of Architectural Engineering, Seoul National University of Science & Technology

²MT Master

요약 노후된 철근콘크리트 항만 구조물을 보수보강하기 위한 대부분의 공법들은 항만 구조물 슬래브나 보 하부를 섬유복합체나, 섬유복합체 패널로 벽지 바르듯 빈틈없이 밀폐시키는 공정으로 이루어져 있다. 하지만 이런 공법들은 보수보강용 섬유제품의 밀폐성 때문에 슬래브나 보 상부에서 유입되는 빗물 등의 수분을 외부로 배출시키지 못하고 구조체 하부에 고이도록 하여 장기적으로 슬래브나 보 하부의 피복콘크리트를 전체적으로 탈락시키는 문제를 발생케 한다. 이런 현상을 방지하기 위해서는 항만 구조체로 스며든 물은 신속하게 배출시키면서 바닥물로부터 구조체로 스며드는 염기는 막을 수 있는 공법 개발이 필요하다. 본 연구는 현재 항만 구조물 보수보강에 사용하고 있는 앵커볼트를 개조하여 이 문제를 해결하고자 하였다. 즉, 앵커볼트 몸체에 홀을 천공하고 앵커볼트의 캡을 개조하여 화장실 트랩처럼 물을 흐르게 하는 구조를 만들으로써, 구조체 내부의 수분은 배출시키고 항상 캡 부분에 약간의 물이 차 있도록 하여 바닥물로부터 상승하는 염기의 침투를 막을 수 있도록 하였다. 개발된 물배출 앵커 및 트랩볼트를 시험시공하여 6개월간 관찰한 결과 73%(200개중 145개)의 앵커에서 물이 배출되었고, 설치 주변의 코어를 채취한 결과 습기가 거의 없는 것으로 나타났다.

Abstract Most construction methods for the repair and reinforcement of old reinforced concrete harbor structures involve a process of applying a fiber complex or fiber complex panel just like wallpaper to the bottom of structures, such as slabs or beams. On the other hand, these techniques result in the sealing of repaired and reinforced portions of the structures by the fiber products, preventing moisture, such as rainwater entering the structures through the upper surfaces of the slabs or beams from being released, and causing the entire concrete covering of the structures to be peeled off in the long run. To prevent this, it is necessary to develop a technique to protect the basic salt from the sea water from penetrating into the structures while expelling the water absorbed in the structures swiftly. This study attempted to solve the problem by modifying the anchor bolts currently used to repair and reinforce the port structure. That is, by drilling holes into the body of anchor bolts and modifying the caps of the bolts to produce a structure that would let the water flow like a toilet trap, the moisture inside of the structure could be drained through the holes in the anchor bolts. The water discharge anchor bolts developed were tested and observed for 6 months; the water was discharged in 73% of the anchors (200 anchor installations, 145 anchors).

Keywords : Corrosion, Harbor Structure, Repair and Reinforcement, Trap Bolt, Water Discharge

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Jong-Ho Ock(Seoul National University of Science & Technology)

Tel: +82-2-970-6590 email: ockjh@seoultech.ac.kr

Received January 9, 2018

Revised February 13, 2018

Accepted March 9, 2018

Published March 31, 2018

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

철근콘크리트 구조물의 손상은 시공방법의 불비, 저급한 재료사용, 사용조건 및 외력조건 변화 등 다양한 원인에 의해 발생한다. 항만에 시설되는 철근콘크리트 구조물의 경우는 수분에 의한 구조물 체적 팽창과 그에 따른 슬래브와 보 하부 콘크리트 균열 및 피복 탈락, 염기 유입에 따른 철근 부식 등의 문제가 있는 것으로 분석되고 있다[1].

그동안 항만 철근콘크리트 구조물의 보수보강을 위해 개발된 공법들은 대부분 슬래브 하부나 보 주변을 섬유복합체 또는 섬유복합체 패넬로, 벽치 바르듯 빈틈없이 접착시키는 공법이다[2]. 이러한 공법들은 보수보강 당시에는 효과가 있으나 시간이 경과함에 따라 섬유제품의 밀폐성 때문에 슬래브나 보 상부로 침투하는 빗물 등을 배출시키지 못할 뿐 만 아니라 보수·보강된 부위가 물통 역할을 하게 되어 철근 부식 심화, 철근과 콘크리트 부착력 저하, 동절기 동결융해 작용에 의한 보수/보강재와 구조물 동시 탈락 등의 문제점을 안고 있다.

이러한 손상을 방지하기 위해 슬래브와 보 상부로부터 유입되는 빗물 등을 배출할 수 있도록 구조물의 하부에 호스 등을 설치하는 공법이 개발되었지만 이런 공법들은 고인 물은 배출시킬 수 있지만 호스 등의 홀(Hole)을 통하여 바닷물의 염기가 구조물 내부로 침투하는 또 다른 문제를 야기한다.

본 연구의 목적은 항만구조물의 하부 보수/보강 시 상부로부터 유입되는 수분을 보수/보강 부위에서 적절하게 배출하면서 동시에 하부로부터 유입되는 염기를 막아 줄 수 있는 물배출 앵커와 트랩볼트를 개발하는데 있다.

2. 이론적 고찰

2.1 보강용 섬유복합체

항만구조물의 보수보강에 사용되는 섬유복합체에는 유리섬유, 탄소섬유, 아라미드섬유, 케블라섬유, 바잘드섬유 등의 강화 섬유(Reinforced Fiber)가 사용되며 이들 섬유들을 에폭시 수지, 폴리에스텔 수지, 페놀 수지 등의 결합재(Matrix)와 함침 하여 구조물에 접착시키게 된다.

유리섬유를 이용한 섬유복합체는 유리섬유 직물을 열처리한 후 카플링 표면처리를 거쳐 에폭시수지, 페놀수지, 불포화 폴리에스터 등에 경화제를 첨가하여 반경화 상태의 원단으로 제조된다. 유리섬유의 원료로는 규사(silica), 석회석(limestone), 붕사 등이 주를 이루고, 그 배합에 따라서 A-glass(고알카리용), C-glass(화학용), E-glass(전기부품용), S-glass(고강도용)로 나뉜다[3].

탄소섬유(Carbon Fiber) 복합체는 탄소원자의 결정 구조를 이용한 고강도 섬유를 이용하는 재료로서 가장 많이 이용되고 있는 강화섬유복합체이다. 탄소섬유 제조 전의 물질(Precursor)에 따라 펜(PAN)계와 피치(Pitch)계 탄소섬유로 구분하고 있으며, 주로 펜계 탄소섬유가 많이 이용되고 있다.

아라미드 섬유는 꿈의 섬유라고 불릴 만큼 아주 강력한 섬유이다. 나일론보다 3배나 강하며, 같은 크기의 강철보다 5배 단단하다. 복합 보강섬유 중 연성이 가장 뛰어난 재료로서 보강 후 콘크리트 표면을 보호하여 내구성을 향상시킨다. 협소한 장소 및 구축물간의 거리가 조밀한 현장에서 적용성이 뛰어나다 [4]. 케블라섬유는 벨트(belt)·방화복·콘크리트 건조물 보강재 등으로 폭넓게 사용되고 있다. 케블라는 강철보다 무려 다섯 배 이상 강하면서도 무게는 플라스틱 정도로 가벼운 것이 특징이다.

바잘드섬유는 현무암을 1400° C 정도에서 200 -500 개의 노즐을 통해 용융 방사하여 만든 무기 섬유로 색상으로 보면 탄소섬유와 유사하나 성질로 보면 유리섬유와 비슷한 고성능 섬유이다. 유리섬유 E-glass에 비해 인장강도 및 탄성률이 15 - 20% 높고, 내 화학성이 더 좋으며, 폭넓은 사용온도와 친환경적 섬유이다[5].

2.2 섬유복합체를 적용한 기존 공법

아래 Fig. 1은 철근콘크리트 항만구조물 하부의 콘크리트 피복이 탈락된 실례를 보여준다. 이와 같은 탈락이 발생할 경우 다음과 같은 섬유복합체 보강공법을 적용하고 있다.



Fig. 1. The Illustrations of Harbor Structures Concrete Deterioration

(1) COSREM 보강공법

프리프레그 타입의 고강도 경량 섬유강화 복합패널을 대상 구조물의 표면에 접촉한 후 박리방지용 앵커 등을 설치하여 구조물과의 거동 일체성과 보강 효과의 장기 내구성을 확보하는 보강 및 보수 공법이다. 프리프레그는 Preimpregnated Materials의 약어로 결합재를 강화섬유에 미리 함침 시킨 시트 형태의 제품으로 만든 것이다[6].

(2) CAF 보강공법

유리섬유에 특수에폭시를 현장에서 함침 시켜 제조한 복합재를 손상된 콘크리트 구조물에 프라이머 도포 후 에폭시로 구조물에 부착시켜 구조물의 내구성 및 내하력을 향상 시키는 보수보강 공법이다[7]

(3) GFRC 패널 보강공법

표면 치핑 후 콘크리트 면에 앵커볼트 또는 클립을 이용하여 GFRC (Glass Fiber Reinforce Concrete) 패널을 고정하고, 실링 후 주입 에폭시를 강제 주입함으로써 휨 내하력을 증진 시키는 보수보강 공법이다[8].

(4) 투명그리드 보강공법

탄소, 유리섬유 등의 그리드 보강재를 투명 패널과 일체화 하여 콘크리트 구조물에 에폭시 접착제를 주입, 부착 하여 강도를 증대 시키는 공법이다[9].

(5) SF-GFRP공법

구조물의 세굴 및 노후화된 부분을 치핑 처리한 후 그라우팅 제를 이용하여 기존 구조체에 SF-GFRP 패널을 부착/일체화시켜 압축력과 인장력을 증대시키는 공법이다.

(6) PG 패널 보강공법

구조용 유리섬유와 필라멘트 매트가 여러 겹 적층된 PG 패널 이용하여 구조물 전체를 감싸는 방법으로, 염해, 중성화, 열화 현상 방지 및 내하력을 증강 시키는 보수보강 공법이다[10].

(6) SR 패널 보강 공법

구조 보강, 내진 보강이 필요한 부재에 SR (Seismic Reinforcement) 패널을 앵커볼트로 장착한 후 콘크리트 구조물과 패널과의 사이에 접착수지를 충전하여 구조물을 보수보강 하는 공법이다[11].

2.3 기존공법의 문제점

위와 같은 선행공법은 철근의 부식 촉진 인자인 염기 침투 방지와 구조물의 보수보강에만 초점이 맞추어져 있어, 다소 차이는 있지만 모든 공법이 거의 동일한 한계점을 가지고 있다. 즉, 앞에서 언급한 바와 같이 슬래브와 보 하부를 보수 보강재가 감싸게 되고 그로 인해 상부에서 침투하는 물이 배출될 수 있는 통로가 없어, 그 고인 물들은 바람과 햇빛으로만 증발하기를 기대할 수밖에 없는 구조라는 것이다. 장마철 또는 밀실하게 시공되지 못한 구조물의 경우에는 구조체로 물의 침투가 심화되는데 보수보강재로 도포된 슬래브나 보는 물탱크 역할을 하면서 염기가 함유된 물을 장시간 가두게 된다. 이는 결국 철근 부식의 원인이 되며 철근과 콘크리트의 부착력 손상, 체적팽창으로 인한 구조물 손상을 가중 시킨다. Fig 2는 이와 같은 현상을 설명해 주고 있다.

Lee & Lee (2014)의 연구에 따르면 섬유복합체공법으로 보수보강한 후 10년 이상 경과된 1종 항만시설 38 개 중 16개 시설에서 Fig. 2와 같은 형태의 하자가 발생하였으며 (하자율 42%) 2종 항만시설의 경우는 85개 시설 중 22개 시설에서 하자가 발생하였다(하자율 26%). 보수보강을 수행한 기업이 보유 공법의 문제점을 은폐하기 위해 비공식적으로 하자보수를 하는 경우도 상당수 있고 잠재적인 하자진행 등을 감안하면 더 많은 하자가

발생될 것으로 추정된다.

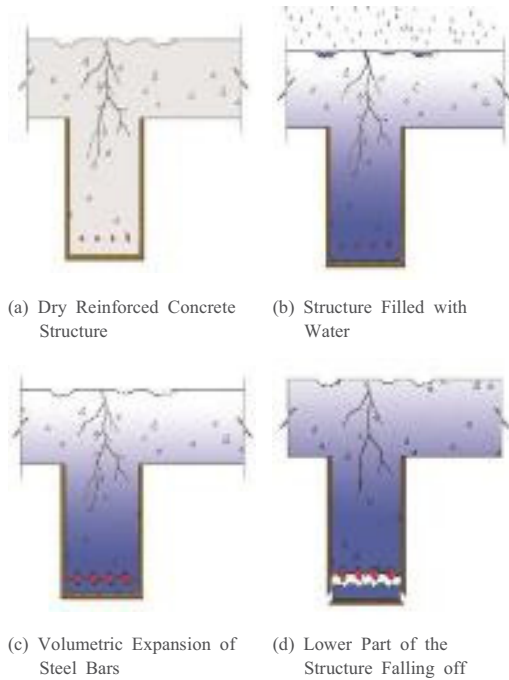


Fig. 2. Structure fall-off due to permeability[1]

3. 물배출 앵커 및 트랩볼트 개발

3.1 개발 내용

위 문제점을 해결하기 위해서는 항만구조체로 스며든 물을 신속하게 배출시키면서 바닷물로부터 구조체로 스며드는 염기를 막을 수 있어야 하는데 물을 배출시키기 위해서는 결국 구조체에 물배출 홀을 천공하여야 하고 이 홀에 염기 차단 장치를 결합시키는 방법 개발이 필요하다.

본 연구에 참조하기 위하여 이와 같은 개념을 포함하고 있는 해외 기술을 조사한 결과, Fig. 3과 같이 지반과 면하는 지상에 시설하는 콘크리트 구체 내의 물을 앵커핀을 통해 외부로 배출하는 일본 기술이 있으나 염기차단을 위한 기술에 대한 사항은 전혀 개발된 바 없었다[1].

본 연구진은 천공에 따른 구조물 손상을 방지하기 위해 섬유복합보강 패널을 구조체에 부착시키는 앵커에 홀을 만들어 물을 배출하고 앵커볼트 캡을 개조하여 확장

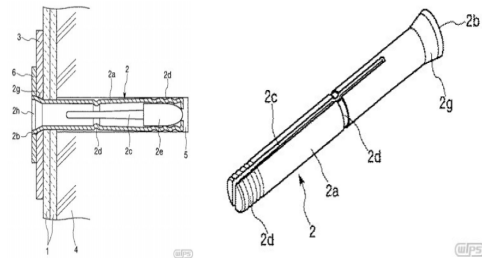
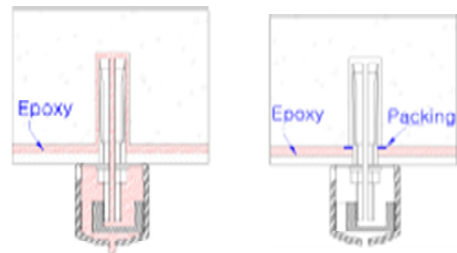


Fig. 3. Japanese Patent JP 2007-308893[1]

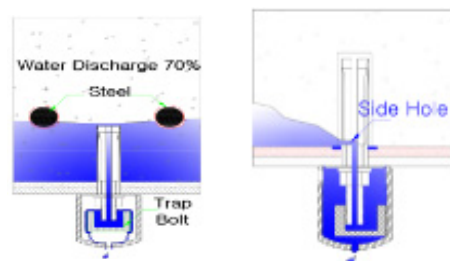
실 트랩처럼 물을 흐르게 하는 구조를 고안하였다. 이 트랩 캡은 물을 구불거리는 형태로 배출시켜, 항상 캡 부분에 약간의 물이 차 있도록 함으로써, 바닷물로부터 상승하는 염기의 침투를 막을 수 있을 것으로 기대되었다.

물배출 앵커를 제작하기 위해 기존 스테인리스 앵커에 앵커 길이 방향으로 홀을 천공할 수 있는 전용 천공용 공구를 제작하였다. 연구의 초반에는 천공된 앵커와 캡을 일체화한 형태로 계획하였으나, 일체화한 형태로 제작하기 어려워 물배출 앵커와 캡을 나누어, 조립 형태로 제작하였다. 제품 완성 후 기대성능 검증실험을 수행한 결과, Fig. 4, Fig. 5와 같은 두 가지 문제점이 발견되었다.



(a) Epoxy Leakage through the Hole in Anchor Bolt (b) Rubber Packing to Solve the Epoxy Leakage Problem

Fig. 4. Epoxy Leakage Problem & Solution



(a) Water Residue after Releasing through the Anchor Hole (b) Water Release through Anchor Side Hole

Fig. 5. Water Residue & Solution

1. 구조체에 섬유복합체 패널 고정 앵커를 설치하고 에폭시를 주입하는 순간 앵커에 홀이 있기 때문에 그 홀로 에폭시가 누출되는 문제점이 발견되었다. 앵커설치 시 구조체와 앵커 사이의 틈에 고무패킹을 설치하여 앵커의 홀을 통해 에폭시가 누출되는 문제점을 해결하였다.
2. 앵커의 길이 방향으로만 홀을 천공하여 앵커 길이보다 낮은 부위는 물 배출이 되지 않는 문제가 있었다. 구조체 최하단에서 물이 앵커로 유입 될 수 있도록 앵커 측면에 홀을 천공함으로써 문제 해결이 가능한 것을 확인하였다.

3.2 효과검증

인천 00 부두에 약 100m² 시험시공을 진행하여 6개월에 걸쳐 물배출 여부를 관찰한 결과 73% (200 개 앵커설치, 145개 앵커에서 물배출)의 앵커에서 물이 배출되었으며 설치 부위 주위에 코어를 1미터 간격으로 6공 천공하여 본 결과 습기가 거의 없는 것으로 확인되었다 (Fig. 6 참조).

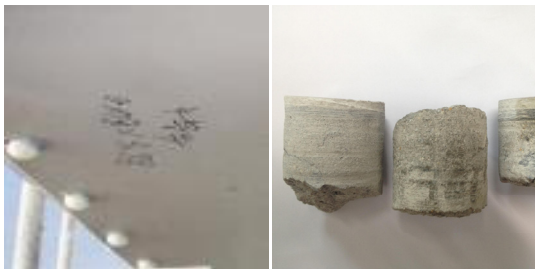


Fig. 6. The Test Application of a Water Discharge Anchor & Trap Bolt to Incheon Harbor

Table 1. Water Discharge Anchor Applications

Project	Area	Quantity
00Port LNG Wharf Repair and Reinforcement	100m ²	200
00Port Quay Wall Repair and Reinforcement	523m ²	1,000
00Port maintenance	550m ²	870
000Bridge Repairs	384m ²	630
00New Port 00Wharf Repair and Reinforcement	504m ²	930
00Port Port Facility Repair and Reinforcement	285m ²	540
00Port Port Facility Repair and Reinforcement	435m ²	864
00Port Port Facility Repair and Reinforcement	750m ²	1,530

본 연구에서는 물 배출 앵커가 적용된 시설물의 노후화 정도, 보수/보강 후 지속적 결합의 발생 정도를 고려한 효과를 제한적으로 제시하였으나, 추후 Table 1과 같이 추가로 적용한 현장의 관찰을 통하여 제시할 예정이다.

3.3 향후 연구

Table 2는 철근콘크리트 구조물 내부에 고이는 수분을 제거하기 위해 개발된 국내의 기술 관련 특허목록을 보여준다. 본 연구에서 개발된 항만구조물 내부의 물배출을 위한 앵커 및 트랩볼트는 개발된 바 없어, 향후 국내외적으로 크게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Table 2. International/Domestic Patents regarding Water Discharge

knowledge Petition	Nations/Patent Number
Concrete Repair Method	Japan/JP2007-308893
Water Leakage Handling Technique	Japan/JP2001-329697
Deck Plate for Discharging Water Leakage	Korea/KR 0974997
Water Discharge Technique on Steel Decks	Japan/JP2003-082802
Water Release Method with Steel Decks	Japan/JP1996-035281
Water Discharge Method with a Hole in Concrete	Korea/KR 0262694

Fig. 6의 시험시공과 그 후 8개 프로젝트에 적용한 물배출 앵커 및 트랩볼트는 길이방향으로만 홀을 천공한 앵커볼트를 사용하였으며 Fig. 5 (b)에서 언급한 기능을 포함하는 앵커볼트는 적용하지 않았다. 이런 경우 이미 앞에서 언급한 바와 같이 앵커볼트 길이부분 만큼의 높이에 해당하는 구조체 내부에 스며들어 있거나 고여 있는 수분은 Fig. 5 (a)에서 보는 바와 같이 배출하기 어렵다.

Fig. 5의 (b)와 같이 앵커 측면에 홀을 천공하여 구조체의 최하단부 가까이에서도 물을 배출시키는 앵커는 기능면에서는 충분히 작동하는 것을 본 연구에서 확인하였으나 실제 현장에 적용하기 위해서는 앵커볼트의 구조적 안정성 등을 검토하여야 한다. 즉, 수분배출에 적절한 홀의 개수 및 크기, 홀 가공으로 인한 앵커의 내력 저하 여부 및 방지 방안, 구조체 최하단부 가까이에서 앵커볼트에 천공함에 따른 염기 상승 여부 등을 검토하여야 하며 만족할만한 성과를 확보할 수 있는 범위를 연구하여야 할 것이다.

4. 결론

해수의 염기로 인해 많은 항만시설들이 노후되고 있어 그동안 국내외적으로 이들 시설의 보수보강을 위한 다양한 연구가 진행되었으며 많은 공법들이 개발되었다. 이 공법들은 대부분 항만구조물의 슬래브 하부나 보 주변을 섬유복합체를 이용하여 감싸는 공법으로, 섬유복합체의 밀폐성 때문에 슬래브나 보 상부로 침투하는 수분을 구조체 하부에 고이게 하는 문제점을 가지고 있었다. 이런 밀폐성은 결국 보수·보강된 항만시설 하부 철근의 부식을 촉진시켜, 일정 시간이 지난 후 슬래브나 보 하부가 통째로 탈락하는 등 당초 보수보강하지 않은 부위보다 더 큰 손상을 초래하는 현상이 있어 왔다.

항만 구조물 상부로부터 내부로 수분이 유입되는 것을 완벽하게 차단하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 수분이 침투하더라도 신속히 배출시키면서 동시에 바닷물로부터 증발하여 구조체로 스며드는 염기를 차단하는 공법 개발이 필요하였다.

본 연구는 항만구조물에 손상을 주지 않으면서도 이러한 기능을 구현할 수 있는 방법으로, 항만구조물 보수보강 시 섬유복합체를 구조체에 긴결하는데 사용하는 앵커볼트를 친공 및 개조하여 물배출 앵커 및 트랩볼트를 개발하였다. 개발 후 시험시공 프로젝트를 통하여 73%의 앵커에서 물이 배출되는 것으로 나타 공법의 실효성을 검증하였다.

그러나 개발된 물배출 앵커 및 트랩볼트는 앵커볼트의 몸체에 길이방향 홀을 친공하여 항만구조물 내부의 수분을 배출하는 방식으로, 앵커볼트 길이만큼의 높이에 해당하는 구조물 부위에 스며있는 수분 배출에는 효율적이지 못하여 이에 대한 연구를 후속적으로 진행할 계획이다.

Reference

- [1] Lee, Hwa-Sun, "The Introduction of a Water Discharge Anchor & Trap Bolt," An Undergraduate Graduation Report, Seoul National University of Science & Technology, 2014.
- [2] Yonsei University, "Development of Aqua Advanced FRP for Repair & Rehabilitation and Evaluation of Applicability the Concrete Structure," A Research Report, Yonsei University, 2013.
- [3] Korean Fiber Industry Association (KFIA), "Recent Fiber Technology Trends," Information Materials, 2007.
- [4] K. W. Kim, "High heat resistant aramid fiber", Fiber

Technology and Industry, vol. 11, no. 4 pp. 205-212, 2007.

- [5] Research Institute for Gangwon, "Basalt and fiber industry of Chelwon", Government policy report, 2011
- [6] Mail Construction co., LTD, "Method for repairing and reinforcing concrete structure", Korea Patent, 10-1051761, 2011.
- [7] Conclinic Home page, <http://www.conclinic.co.kr> (January 8, 2018), Publication
- [8] K. H. Kim, M. W. Kim, J. G. Lee, "Repair of Aqueduct using GFRC Panel Method", Korea Concrete Institute, vol. 24, no. 1, pp. 797-798, 2012.
- [9] S. O. Lee, "Transparency Composite Panel Reinforced with Grid and Reinforcement Structure of Construction using the Same", Korea Patent, 2004310410000, 2006.
- [10] Reeco E&C co., LTD, "Fiber Reinforced Panel, Manufacturing method, and Concrete structure Reinforcing method using thereof", Korea Patent, 1007176230000, 2007.
- [11] Hankook Laboratory System, "Panel of Reinforced Fiber and Construction Method of Using the Same", Korea Patent, 1010612480000, 2011.

옥종호(Jong-Ho Ock)

[정회원]



- 1984년 2월 : 서울시립대학교 건축공학과, (공학사)
- 1994년 7월 : University of Nebraska-Lincoln, USA (공학석사)
- 1998년 5월 : University of Colorado-Boulder, USA (공학박사)
- 2004년 2월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 건축학부, 교수

<관심분야>

초고층/비정형 Facade Engineering, Public Private Partnership 프로젝트 리스크관리, SOC 유지관리

문상덕(Sang-Deok Moon)

[정회원]



- 2003년 2월 : 서울과학기술대학교 건축공학과(공학석사)
- 2016년 2월 : 서울과학기술대학교 건축프로그램(박사수료)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 U-건설관리공학연구소 연구실장

<관심분야>

초고층/비정형 Facade Engineering, Public Private Partnership Negotiation

이 화 선(Wha-Seon Lee)

[정회원]



- 2005년 1월 ~ 현재 : 주식회사
엠티마스타 대표
- 2016년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 주택도시대학원 SOC유
지관리공학과 석사과정 재학

<관심분야>

사회간접시설물 유지관리