

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.1.477

JCCT 2020-2-59

## 콘크리트 박스 구조물용 보수재의 부착강도 향상을 위한 기계식 가압장비(MPE) 성능에 관한 연구

### A Study on the Performance of Mechanical Pressurizing Equipment(MPE) for Improving Bond Strength of Repair Materials for Concrete Box Structures

유형식\*, 정지승\*\*

Hyeong-Sik Yu\*, Jee-Seung Jung\*\*

**요약** 콘크리트 박스 구조물이 열화되어 보수보강이 필요할 경우 스프레이 장비로 구조물 단면에 보수재를 분사하여 부착시키는 방법에 의존하고 있는데 천장 또는 벽체부위의 경우 시공 후 보수재 자중 또는 중력에 의해 부착력이 저하될 수 있으며 지하철 구조물의 경우 진동 등에 의해 초기 부착력이 떨어지는 문제점이 발생한다. 또한 작업자의 숙련도와 시공환경에 따라 보수품질이 변동되기에 이에 대한 보완책이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 중력에 의한 보수재의 부착력 저하 및 인력시공에 의한 보수품질의 변동과 같은 문제점을 해결하고자 보수재 시공 후 소정의 압력을 가할 수 있는 기계식 가압장비를 개발하였다. 그리고 가압장비의 성능을 알아보기와 현장조건을 모사할 수 있는 챔버를 제작하여 가압 유무, 단면부위 및 환경조건을 달리한 부착강도를 측정된 결과 가압할 경우 그렇지 않은 경우보다 부위별로 차이가 있었으나 최대 70% 부착강도가 증가하는 효과를 얻을 수 있었다.

**주요어** : 콘크리트 박스 구조물, 보수재, 가압장비, 챔버, 부착강도

**Abstract** The rehabilitation methods used in existing concrete box structures rely on the method of attaching the repair material to the section of the structure with a spray equipment. In the case of ceiling or wall parts, the adhesion force to the repair material may be reduced by the gravity and dead load after construction. In subway structures, vibration causes a problem that reduces the initial adhesion. Supplementary measures are needed as the quality of repair varies depending on the worker's proficiency and construction environment.

In this study, mechanical pressurization equipment was developed that can apply a certain pressure after construction of a repairwork to solve problems such as reduction of adhesion of repair materials by gravity and variation of repair quality by labor work. To find out the effect of the pressurized equipment, a chamber similar to the field conditions was constructed to measure the attachment strength different from the pressurized condition, the section, and the environmental conditions. The pressurization differed from the other parts, but the adhesion strength of up to 70% was increased.

**Key words** : concrete box structures, repair material, pressurization equipment, chamber, bonding strength

\*정회원, 동양대학교 일반대학원 건설공학과 박사과정 수료

\*\*정회원, 동양대학교 철도건설안전공학과 교수

접수일: 2019년 10월 21일, 수정완료일: 2019년 11월 05일

게재확정일: 2019년 11월 15일

Received: October 21, 2019 / Revised: November 05, 2019

Accepted: November 15, 2019

\*Corresponding Author: yu6070@hanmail.net

Dept. of Construction Engineering in Dong Yang University  
Graduate School, Korea

## I. 서 론

건설재료 가운데 가장 큰 비중을 차지하는 콘크리트는 내구성이 우수하여 반영구적인 구조물의 축조에 적용되어 왔으며 70년대 이후 근대화에 맞물려 이루어진 급속한 경제발전으로 교량, 터널, 철도, 항만, 댐, 상하수도 등의 사회기반시설물에 대량의 수요가 창출되었다[1]. 이중 지중에 매설되는 상·하수도 시설에서 특히 콘크리트 박스 구조물은 도시가 거대화되어 생활 오폐수가 증가함에 따라 환경과 직결되는 중요 수리시설물이 되었다. 국가에서 관리하고 있는 콘크리트 구조물의 경우 시설안전공단 『국회입법조사처 제출 자료』[2]에 따르면 2017년 12월 말 기준으로 시설물 안전법 대상 제1종 및 제2종 시설물은 총 87,124개이며 그 중 시설물 유형별 고령화율(제1종 및 제2종 시설물 평균)은 댐, 공동구, 항만, 하천, 상하수도 등의 순으로 높게 나타났으며 30년 이상 노후한 고령화 시설물은 제1종 시설물이 713개(7.7%), 제2종 시설물이 3,454개(4.4%)로 조사되었다. 현재까지 국가 주요 시설물의 고령화율은 높지 않은 편이나, 향후 20년 후에는 고령화율이 40% 이상으로 증가할 것으로 예상되고 있으며 건설된 지 10~29년 사이의 시설물이 전체 시설물의 49.8%를 차지하고 있어, 향후 시설물 노후화가 급격히 진행될 것으로 전망된다. 이에 구조물의 노후화 현상의 진행에 따라 콘크리트 구조물의 열화 단면 보수 보강에 대한 연구가 1990년대 이후로 활발하게 진행되어 여러 신기술 및 특허 공법 등이 개발 적용되고 있는데 그 중 단면복구방법은 가장 기본이 되는 공법으로 가장 많이 사용되고 있다[3].

이 방법은 철근부식이 이루어진 경우 철근 부위까지 콘크리트를 파취한 후 방청처리 후 에폭시 수지 모르타르나 폴리머 시멘트 모르타르 등의 재료를 충전하는 과정으로 진행된다. 그런데 콘크리트 박스 구조물 천정부위 또는 벽체와 같은 부위는 분사장비로 보수재를 충전하는데 있어 다음과 같은 문제점이 발생하게 된다. 우선 부착면의 청소상태가 불량하거나 양생완료 전 진동이 발생하는 경우 및 측면, 천장부는 중력에 의해 부착력이 저하하게 되며 보수단면의 건조습윤상태 및 작업자의 숙련도에 따라 보수품질이 변동된다[4]. 이에 본 연구논문에서는 시공된 보수재에 일정한 크기의 압력을 가할 수 있는 기계식 가압장비를 개발

하여 부착력 향상여부를 알아보고자 하였다.

이를 위해 시험편을 제작하여 가압 유무, 보수재 시공부위 및 환경조건을 달리한 후 KS F 4042 「콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르」에 의거하여 부착강도를 측정하였다[5].

## II. 연구개요

콘크리트 박스 구조물의 보수보강 공법은 재료와 시공법에 따라 매우 많은 종류가 있으나 본 연구에서는 환경부 제정 「하수관로공사 표준시방서」[6]에 나와 있는 단면복구공법을 표준화된 보수보강공법으로 선정하여 단면복구공법의 시공과정을 살펴보고 문제점에 대해 알아보고자 한다.

### 2.1 콘크리트 구조물 보수공법

우선 단면복구공법의 시공은 그림 1과 같은 순서로 진행되며 먼저 부식된 철근부위까지 콘크리트를 파취하고 철근의 녹을 완전히 제거한 다음 철근에 대한 방청처리를 실시한 후 보수재로 단면을 충전하게 되며 공정별 시공방법은 그림 1과 같다.

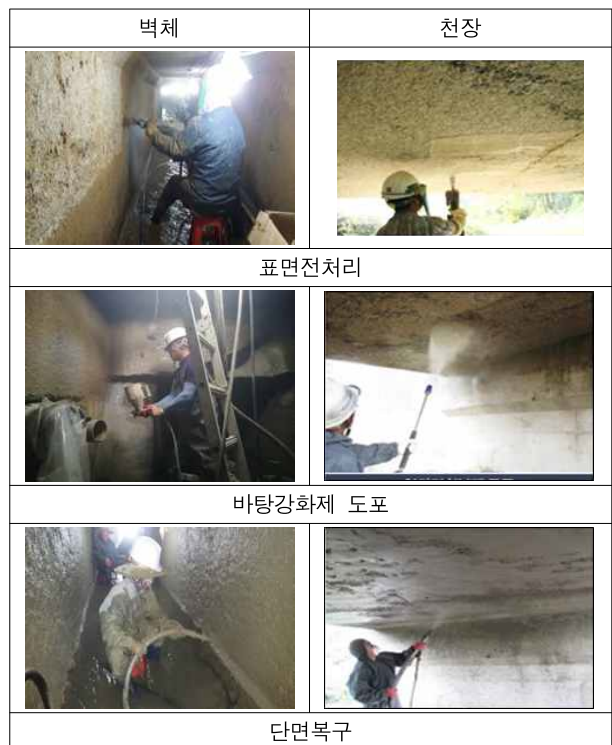


그림 1. 콘크리트 박스 구조물 보수공정  
Figure 1. rehabilitation procedure of concrete box

(1) 표면 전처리(열화부 제거 및 치핑)  
 손상부위의 콘크리트 및 들뜸이 있는 부분을 전동 해머, 치핑기 등을 이용하여 처리 한다.

(2) 녹제거 및 물세척  
 철근부위의 녹을 완전히 제거하고 콘크리트 열화부에 있는 이물질들을 고압세척기로 완전히 제거한다.

(3) 철근방청처리 및 바탕 강화제 도포  
 무기질계 분말과 고분자 수지를 방청처리제로 사용하고 구조물 표면강화를 위해 바탕강화제를 도포한다.

(4) 단면복구  
 콘크리트 구조물 보수용 재료로 단면을 충전하는데 다음과 같은 주의사항이 필요하다.

- ① 숙련된 기술자에 의해 타설되어야 한다.
- ② 천장부위 시공시 재료무게에 의한 처짐으로 1회 미장두께는 10mm 이내로 하며 기타 부위는 20mm 이하로 시공을 해야 한다.

### 2.2 기존 보수공법의 문제점

대부분의 현장에서 분사장비를 사용하여 보수재를 충전하는 방식을 적용하기 때문에 표준시방서에서 언급되어 있는 천장부위 10mm, 기타부위 20mm두께 이내로 시공해야 하는 규정을 준수하기가 힘들기 때문에 다음 그림 2와 같은 문제점이 발생하게 된다.

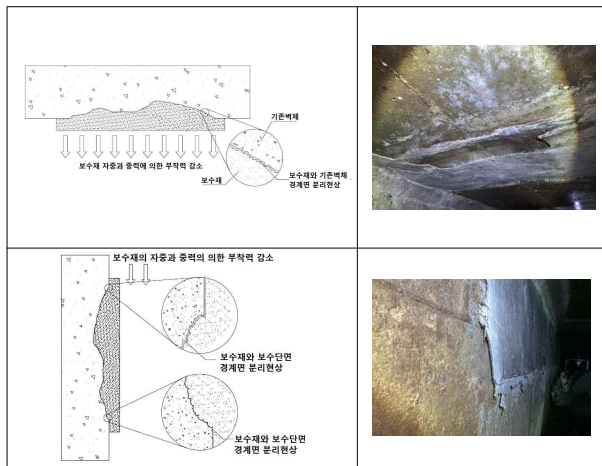


그림 2. 기존 보수(분사)공법의 단점  
 Figure 2. weakness point of spray method

천장부 및 벽체의 경우 보수재가 부착되더라도 과도한 두께로 시공된 보수재의 자중과 중력에 의해 시공단면과의 부착력이 저하되어 경계면이 박리되는 문제점이 발생할 수 있으며 분사장비를 다루는 작업자의 숙련도에 따라 보수품질의 변동이 발생하기 쉽고 보수

재의 배합 및 타설속도 등 시공조건에 변화에도 시공 결과가 다르게 나타날 수 있다.

### III. 기계식 가압장비 개발

본 연구에서 개발하고자 하는 기계식 가압장비 (Mechanical Pressurizing Equipment, 이하 MPE로 약함)의 모식도를 그림3에 나타내었으며, 장비가 투입된 현장조건은 인력이 투입되어 작업하기 곤란한 콘크리트 하수박스 구조물로 선정하였다

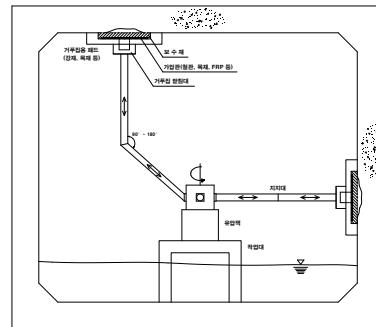


그림 3. 기계식 가압장비 모식도  
 Figure 3. schematic diagram of MPE

그림 3에서 알 수 있듯이 콘크리트 박스 구조물의 천장부위와 벽체부위를 동시에 시공이 가능하도록 설계되었으며 작업자가 소요 압력을 설정할 수 있도록 외부에 가압조절장치를 장착하였고 가압플레이트를 보수단면적에 맞추어 교체함으로써 효율적인 보수보강작업이 가능하도록 설계되었으며 가압장비 상세도를 그림 4와 5에 나타내었다.

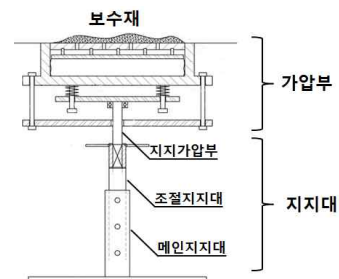


그림 4. 기계식 가압장비 상세도  
 Figure 4. detail drawing of MPE

기계식 가압장비는 크게 지지대와 가압부로 구분할 수 있으며 지지대는 메인지지대와 길이를 조절 할 수 있는 조절지지대로 구성되어 있으며 가압부와 일차적으로 가압플레이트로 연결되어 있다.

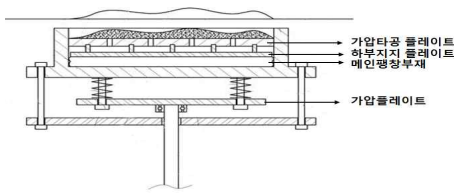


그림 5. 가압부 상세도  
Figure 5. detail drawing of pressure part



그림 6. 기계식 가압장비  
Figure 6. Mechanical Pressurizing Equipment

보수재를 최종적으로 가압하는 주 가압부는 그림 6에 나타난 것처럼 탄성거푸집으로서 가압 컨트롤러에 의해 가압이 진행되면 주 팽창부재를 팽창시키게 되고 가압타공 플레이트와 하부지지 플레이트가 상승하여 보수재가 지속적으로 압입상태를 유지시키게 하여 보수단면과의 부착력을 향상시키는 원리이다. 이때 타공된 플레이트를 사용하게 되는 이유는 외기와의 접촉을 충분하게 하여 경화를 촉진시키고자 함이며 컨트롤러에 의한 가압범위는 0.1~1.0MPa이며 조절범위는 0.1MPa이다.

#### IV. 실험개요 및 결과

##### 4.1 실험개요

##### 4.1.1 실험방법

##### (1) 바탕체 제작

시멘트와 모래의 비율을 1:2, 물-시멘트비를 58%로 70mm×70mm×20mm 모르타르를 제조하여 20±2℃, 습도 80% 이상에서 24시간 양생한 뒤 탈형한 후 6일 동안 20±2℃의 물속에서 양생하고 다시 21일 이상 양생실에서 양생하여 바탕체를 제작한다.

##### (2) 시험체 제작

40mm×40mm×2mm의 형틀에 시료를 채워 시험체를 제작하고 48시간 경과 후 탈형한 뒤 20±2℃의 물속에서 5일간, 온도 20±2℃, 습도 65±10%에서 21일간 양생한다.

##### (3) 부착강도 측정

하부인장용 지그 및 강철제 받침판을 사용해서 시료

면에 대해 수직방향으로 인장력을 가해 최대 인장하중을 구해 다음 식에 의해 부착강도를 산출한다.

$$\sigma_a = \frac{T}{1,600}$$

여기에서

$\sigma_a$  : 부착강도(N/mm<sup>2</sup>)

$T$  : 최대인장하중(N)

##### 4.2 가압챔버 제작

기계식 가압장비의 부착력 향상 효과를 알아보기 위해 1,600mm×1,000mm×2,000mm 챔버를 제작한 후 KS F 4042에 의거하여 바탕체와 시험체를 제작한 후 건조상태의 경우 외기온도 17℃ 습도 45%, 습윤조건인 경우 온도 32℃ 습도 90%로 고정시킨 후 위치별로 천장부(ceiling panels), 벽체부(side wall) 및 바닥판(deck plate)에서 부착강도를 측정하였으며 가압플레이트 장착한 전경을 그림 7에 나타내었다.



그림 7. 챔버를 이용한 부착강도 측정  
Figure 7. Bonding strength of specimen in chamber

##### 4.3 실험결과

가압여부, 환경조건 및 구조물 위치별 시험체 부착강도를 측정하여 정리한 것이 표1 및 그림 8~13이다.

표 1. 조건별 부착강도값(N/mm<sup>2</sup>)

Table 1. bonding strength value(N/mm<sup>2</sup>)

구 분	건 조		습 윤	
	가압	비가압	가압	비가압
바 닥	1.7	1.3	3.1	1.9
벽 체	1.3	1.1	2.2	1.7
천 장	1.3	1.0	2.0	1.3

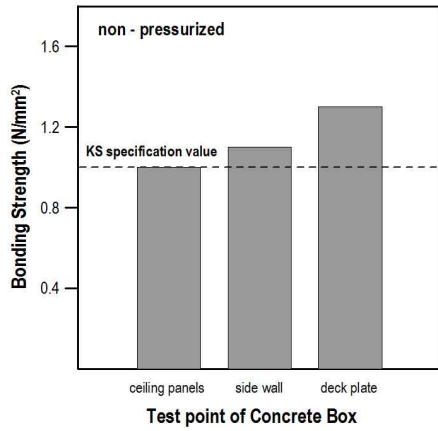


그림 8. 구조물 위치별 부착강도(건조 비가압)  
 Figure 8. bonding strength (dry, non-pressurized)

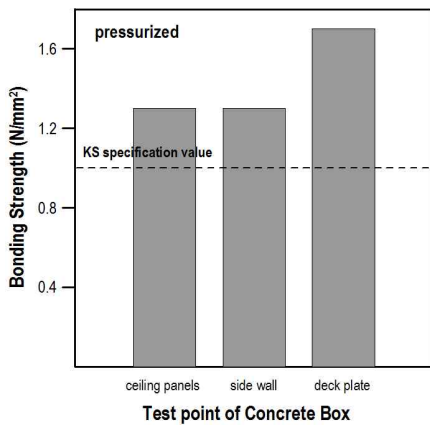


그림 9. 구조물 위치별 부착강도(건조 가압 상태)  
 Figure 9. bonding strength (dry, pressurized)

그림 8과 9는 건조상태에 놓여진 시험체의 가압효과를 알아보기 위하여 위치별로 부착강도를 측정하여 정리한 것이다. 그림 8과 9에서 알 수 있듯이 모든 조건에서 KS에서 규정한 기준값  $1\text{N/mm}^2$ [5]을 만족하였지만 가압하지 않은 시험체의 경우 천장부 부착강도가  $1\text{N/mm}^2$ 으로 시험체가 실내에서 제작된 점을 고려할 때 현장에서 기준값 이하로 나타날 수 있어 추후 현장실험이 필요할 것으로 판단된다.

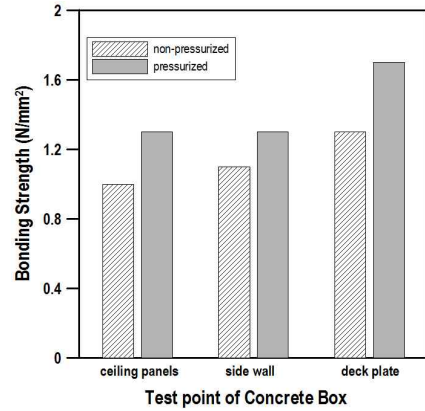


그림 10. 구조물 위치별 부착강도(건조상태)  
 Figure 10. bonding strength with test point(dry)

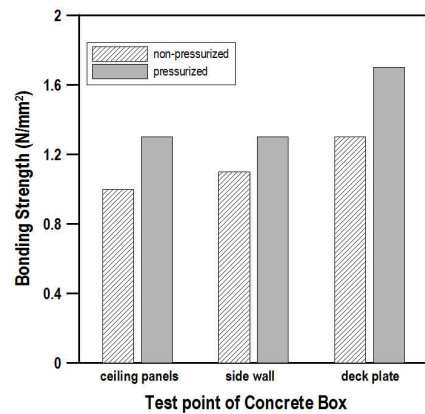


그림 10. 구조물 위치별 부착강도(건조상태)  
 Figure 10. bonding strength with test point(dry)

그림 10에서 알 수 있듯이 가압여부와 상관없이 위치별 부착강도는 천장부 < 벽체부 < 바닥판의 순서로 높게 나타났으며 가압을 하였을 경우 천장부와 벽체부가 동일한 부착강도를 나타내는 것은 가압에 의해 중력에 의한 영향이 상대적으로 감소된 것으로 보여진다.

가압하지 않은 천장부 부착강도를 100으로 한 상대적인 부착강도비 결과를 그림 11에 나타내었다.

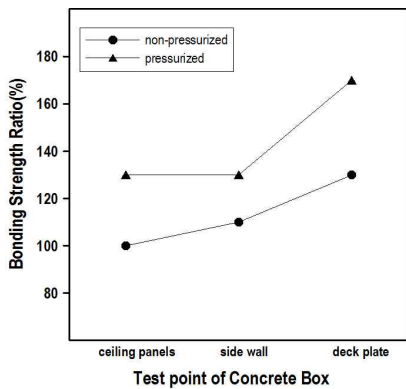


그림 11. 구조물 위치별 부착강도비 (건조상태)  
Figure 11. bonding strength ratio with test point(dry)

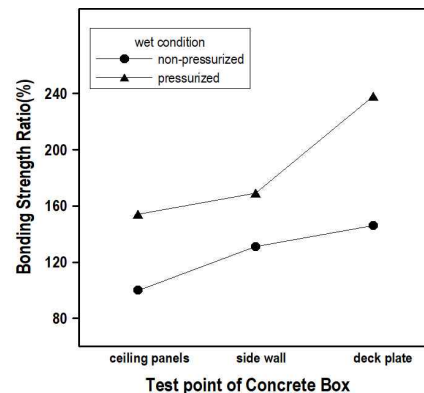


그림 13. 구조물 위치별 부착강도비 (습윤상태)  
Figure 13. bonding strength ratio with test point(wet)

그림 11에서 알 수 있듯이 가압하지 않은 시험체의 경우 위치별로 천장부에 비해 벽체가 10% 바닥판이 30% 부착강도가 높게 나타났으며 가압한 시험체와 비교하였을 경우 동일한 천장부에서는 30% 바닥판에서는 70% 부착강도가 높게 나타났음을 알 수 있었다.

특히 가압하지 않은 경우의 바닥판 부착강도와 가압한 경우의 천장부 부착강도가 같은 값으로 측정되어 기계식 가압장비에 의한 가압효과가 우수한 것으로 나타났다. 이와 같은 이유로는 압력에 의해 부착면과 보수재가 일정시간 밀착되면서 내부 시멘트 페이스트의 자유수가 일부 빠져나가 물-시멘트비가 낮아지게 되는 효과로 보여진다.[7]

그림 12, 13은 하수박스과 같이 항상 습윤환경에 노출되어진 콘크리트 구조물에서 기계식 기압장비의 성능을 알아보하고자 습윤상태의 시험체에 대해 가압을 실시하여 위치별 부착강도와 비가압 시험체의 부착강도를 100으로 한 상대적인 부착강도비를 측정하여 정리한 것이다.

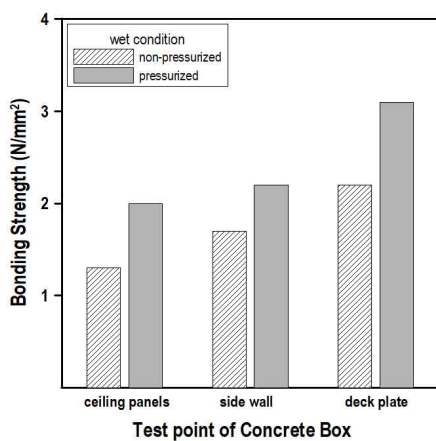


그림 12. 구조물 위치별 부착강도(습윤상태)  
Figure 12. bonding strength with test point(wet)

그림 12 및 13에서 알 수 있듯이 습윤상태에서도 가압여부와 상관없이 부착강도는 천장부 < 벽체부 < 바닥판의 순서로 높게 나타나 보수재 자중 및 중력이 부착력에 미치는 영향을 확인할 수 있었으며 바닥판의 경우 천장부에 비해 비가압시 46% 가압시 55% 높게 나타났다. 이는 고온다습한 환경에서 시멘트 경화체의 수화가 일반 대기상태에 비해 빠르게 진행되기 때문인 것으로 보여진다[8]. 이러한 결과는 일반적으로 고온에서 양생된 시멘트 경화체가 그렇지 않은 경우보다 강도발현율이 높다는 연구논문[9]과 일치하며 또 다른 이유로는 공기중의 상대습도가 적어도 80% 이상 되어 수분의 공급이 이루어져야 시험체의 경화가 충분히 이루어질 수 있기 때문이다[10].

## V. 결론

본 연구에서는 기존 보수공법 적용시 문제가 될 수 있는 부착력 저하를 해결하고자 기계식 가압장비를 개발하였으며 그 성능을 확인하고자 실내실험용 챔버를 제작한 후 실험조건을 달리한 부착강도를 측정하여 다음과 결론을 도출하였다.

1) 건조상태에서는 모든 조건에서 KS에서 규정한 기준값을 만족하였지만 가압하지 않은 시험체의 경우 천장부 부착강도는 현장실험시 기준값 이하로 나타날 수 있어 추후 현장실험이 필요할 것으로 판단된다.

2) 건조상태에서 가압하지 않은 천장부 부착강도를 100으로 한 상대적인 부착강도비를 알아본 결과 가압한 시험체 바닥판에서는 70% 부착강도가 높게 나타났음을 알 수 있었다.

3) 습윤상태에서도 가압여부와 상관없이 부착강도는 천장부 < 벽체부 < 바닥판의 순서로 높게 나타났으며 바닥판의 경우 천장부에 비해 비가압시 46% 가압시 55% 높게 나타났다.

이상과 같은 실험결과로서 기계식 가압장비를 사용하였을 경우 건조 및 습윤조건에서 위치와 상관없이 부착강도를 향상시킬 수 있어 보수재의 부착강도 향상에 우수한 성능을 나타내었음을 확인하였다.

## References

- [1] J.Y. Choi, H.S. Gong, J.H. Kim, H.S. Kim, J.S. Chung, “An Experimental Study on Causes Evaluation of Rail Corrugation for Concrete track(STEDEF) in Urban Transit” , The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT), Vol. 4, No. 4, pp.413-418, 2018
- [2] Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation, “National Assembly Research Service Report” , 2018
- [3] H. J. JU, “Experimental study on the rehabilitation method of reinforced concrete structures as application of repairing mortar” , Hanyang University Master’s thesis, 2006
- [4] Abu-Tair, A. I. Rigden, S. R. and Burley, “Testing the Bond between Repair Materials and Concrete Substrate”, ACI Material Journal, Technical Paper, Vol. 93, No. 6, pp.345-353, 1996
- [5] KS F 4042, “Polymer modified cement mortar for maintenance in concrete structure” , Korean Standards Association, 2017
- [6] Ministry of Environment, “Standard Specification for Sewage Pipeline Construction”, 2017
- [7] P. H. Emmons, “Concrete Repair and Maintenance Illustrated”, R. S. Means Company, Inc., pp.155-164, 1994
- [8] M. Kurita, and K. Rokugo, “Recent Progress on HPFRCC in Japan”, Journal of Advanced Concrete Technology, 4(1), pp.19-33, 2006
- [9] Koh, K. T., Park., J. J., Ryu., G. S., and Kang., S. T., “Effect of the Compressive Strength of Ultra-High Strength Steel Fiber Reinforced Cementitious Composites on Curing Method”, Journal of the Korean Society of Civil Engineers., Vol. 27, No. 3A, pp.427-432, 2007
- [10] A. M. Neville, “Properties of concrete”, Fourth and Final Edition, Longman, pp. 318-319, 1996