

# 동결융해 및 UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 인발거동특성 평가

## Evaluation of Bond Strength in FRP Hybrid Bar Affected by Freezing/thawing Test and UV Rays

박재성<sup>1\*</sup> · 윤용식<sup>1</sup> · 박기태<sup>2</sup> · 권성준<sup>1</sup>Jae-Sung Park<sup>1\*</sup> · Yong-Sik Yoon<sup>1</sup> · Ki-Tae Park<sup>2</sup> · Sung-Jun Kwon<sup>1</sup>

(Received February 27, 2017 / Revised March 16, 2017 / Accepted March 16, 2017)

FRP Hybrid Bar, composed of an embedded steel and the coated composites with epoxy and glass fiber, is an effective construction material with tension-hardening performance and lightweight. The epoxy exposed to UV(Ultra Violet Rays) and FT(Freezing and Thawing) action easily shows a surface deterioration, which can cause degradation of bonding strength between inside-steel and outside-concrete. In the present work, surface inspection for 3 different samples of normal steel, FRP Hybrid Bar before UV, and FRP Hybrid Bar after UV test was performed, then concrete samples with 3 reinforcement types were prepared for accelerated FT test. Through visual inspection on 3 typed reinforcement, no significant deterioration like chalking was evaluated. The results from FT test to 120 and 180 cycles showed FRP Hybrid Bar exposed to UV test has higher bonding strength than normal steel by 106.3% due to enlarged bond area by silica coating. The 3 cases showed a similar bond strength tendency with increasing FT cycles, however a relatively big deviations of bond strength were evaluated in FRP Hybrid Bar after UV test due to loss of silica coating.

**키워드** : FRP Hybrid Bar, 에폭시, UV 폭로시험, 동결융해, 부착강도**Keywords** : FRP hybrid bar, Epoxy, UV exposure test, Freezing/thawing, Bond strength

### 1. 서론

유리섬유 강화 복합재료인 FRP(Fiber Reinforced Plastics)는 전기적, 화학적으로 우수한 특성을 갖는 유기재료 에폭시에 기계적 강도를 보강하기 위해 유리섬유를 복합(hybrid)한 재료로서 각종 부문에서 폭넓게 사용되고 있다(Lee et al. 1999). FRP는 주로 판접착 방식으로 제조되어 보수 및 보강에 사용되는데, 인장강도가 높으면서도 부식에 대한 저항성이 크고 강도/중량비가 커 콘크리트 구조물의 자중을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 FRP는 고가이며 내구성에 대한 실제적인 실험자료의 부족 및 설계기준의 미정립화로 인하여 그 사용이 제한되어왔다. 또한 많은 부분에서 시공 후 부분적인 박락(Delamination)이 발생하여 적용성에 문제가 되기도 하였다(Gomez 1996; Porter Ssadatmzesh 1997).

FRP Hybrid Bar에 사용된 에폭시는 높은 강도 및 강성 그리고 좋은 피로 저항성을 가지고 있으며, 이러한 공학적 장점을 배경으로 군사기업부터 토목 고층 구조물까지 광범위하게 사용하고 있다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고 전반적인 장기 내구성에 대한 염려가 존재한다. 특히 심한 외부환경 조건에서 유지되어야 하는 성능과 관련해 공학적인 성능저하가 발생한다. 이러한 점을 고려해 습도, 온도, UV(Ultra-Violet Rays), 열주기, 기계적 피로 등 에폭시 자체의 성능 평가에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다 (Bhavesh G et al. 2002).

최근 들어 동결융해는 큰 열화인자로 대두되고 있다. 동결기에 온도가 매우 낮아지고 많은 눈이 내려 그에 따른 제설제의 사용이 점점 증가하고 있어 동결융해는 보부재와 같은 구조물에 치명적인 열화인자로 작용한다. 또한 공장제품인 FRP를 야적장에 장기간 적재하게 될 경우, UV의 노출에 따라 표면 변색과 산화(Chalking)

\* Corresponding author E-mail: jjuni98@hannam.ac.kr

<sup>1</sup>한남대학교 건설시스템공학과 (Department of Civil Engineering, Hannam University, Daejeon, 34430, Korea)<sup>2</sup>한국건설기술연구원 구조융합연구소 (Korea Institute of Civil engineering and building Technology, Kyeonggi-do, 10223, Korea)

현상 등의 문제를 일으켜 부착력의 저하를 야기할 수 있다.

FRP를 보강 철근으로 사용한 기존의 연구에서는 지속적으로 수분에 노출되는 환경보다는 건조·습윤 반복과 같은 환경이 계속 될 경우 FRP 보강근 내부의 수분 흡수 정도의 차이가 발생하여 서로 다른 수분 흡수층으로 분리되면서 외부에서 발생하는 하중에 의해 쉽게 파괴될 수 있다고 보고되고 있다(Gomez 1996; Porter Ssadatmznes, 1997). 또한 Choi et al.(2006)의 연구에서는 탄소 섬유시트와 유리섬유시트는 기건동결-수중융해 조건에서 노출된 조건에서 인장강도의 저하가 동결융해에 큰 영향을 받지 않을 것이라는 결과를 얻었지만, 다른 연구(Song et al. 2006)에서는 FRP 복합체를 0, 500, 1000, 1500시간 자외선 촉진 노출을 실시한 결과, 500시간 노출을 실시한 경우 탄소섬유시트의 6%의 인장강도 감소가 나타남을 지적하였다.

최근 들어 FRP를 내부에 일반 구조용 철근을 매립하여 사용한 FRP Hybrid Bar가 제조되어 내구성 및 강성을 증가시키려는 연구가 진행되고 있다(Park 2013). FRP Hybrid Bar의 경우 부식에 대하여 매우 안전하며, 외경이 같은 일반 철근에 비하여 인장경화가 지속적으로 발생하므로 구조물의 내력 증가에 매우 효과적인 재료로 보고되고 있다(Oh et al. 2016; Hwang et al. 2017; Seo et al. 2013). 그러나 직접적인 UV에 따른 열화검토와 동결융해에 대한 영향은 조사되지 못하고 있으며, 실용화 측면에서도 이러한 기초 연구는 필수적이다.

본 연구에서는 FRP Hybrid Bar의 동결융해와 UV 노출에 대한 영향에 초점을 둔 실험을 진행하였다. FRP Hybrid Bar에 대해 UV 폭로실험을 진행한 후, 에폭시계 재료의 열화에 따른 실험 전/후의 외관특성분석을 실시하고, 이후 일반철근, FRP Hybrid Bar 및 UV 폭로실험을 거친 FRP Hybrid Bar를 준비하였다. 이후 각주형 콘크리트를 제작하여 각각의 철근을 매립한 뒤 동결융해실험을 수행하여 0Cycle, 120Cycle, 180Cycle을 거친 콘크리트의 인발강도를 평가하였다.

## 2. FRP Hybrid Bar의 인발특성 평가를 위한 실험계획

### 2.1 실험 개요

본 실험을 진행하기에 앞서 FRP Hybrid Bar의 열화인자로 작용할 수 있는 동결융해작용과 자외선을 FRP Hybrid Bar에 전처리하였다. 각 시험에 대한 철근 및 공시체에 대한 외관특성은 후술하였다.



Fig. 1. Picture of UV exposure test machine



Fig. 2. Picture of specimen in freezing/thawing equipment

#### 2.1.1 UV 폭로시험

UV 폭로시험은 KS M ISO 4892-2에 따라 온도  $63 \pm 3^\circ\text{C}$ , 습도  $50 \pm 5\%$ , 방사조도  $0.52\text{W}/\text{m}^2$ , 파장  $340\text{nm}$ 의 조건으로 총 400시간동안 FRP Hybrid Bar에 대해 실험을 수행하였다. UV 폭로시험 간 셀에 존치할 수 있는 철근의 최대 길이가  $200\text{mm}$ 로 제한적이기 때문에, 본 실험에서 사용된 일반철근 및 FRP Hybrid Bar의 길이는  $200\text{mm}$ 로 제한하였다. Fig. 1은 UV 폭로시험에 사용된 촉진 내후성 장비를 나타내었다.

#### 2.1.2 동결융해시험

동결융해시험은 KS F 2456에 따라 실시하였다. 재령 28일의 철근 인발 공시체에 대해 수중 급속 동결융해 방법으로 실험을 수행하였고, 목표 Cycle은 120Cycle, 180Cycle로 설정하였다. Fig. 2에서는 동결융해시험기에 공시체를 존치한 모습을 나타내었다.

### 2.2 배합 및 사용재료

본 실험에 사용된 배합은 Table 1과 같은데, 목표 압축강도  $24\text{MPa}$ , 목표 슬럼프는  $180\text{mm}$ 로 고려하였다. AE 감수제는 시멘트 중량의  $0.7\%$ 를 사용하였고 일반철근, FRP Hybrid Bar, UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar에 같은 배합을 적용하였다. 동결융해 몰드의 크기를 고려해  $75 \times 75 \times 75\text{mm}$ 의 Cube 공시체를 Fig. 3

의 공시체 모식도와 같이 제작하였고 철근의 정착길이는 75mm로 설정하였다. 일반철근은 D13 SD400 이형철근을 이용하였으며, FRP Hybrid Bar는 D13 이형철근에 FRP 보강 후 규사코팅 된 것을 사용하여 실험을 수행하였다. Fig. 4에 콘크리트 타설 후의 모습과 공시체를 양생하는 모습을 나타내었다. 타설 1일 이후 거푸집을 제거하였으며, 28일간 수중양생을 실시한 후 동결융해시험을 수행하였다.

Table 1. Mixture of specimen

W/B (%)	S/a (%)	G <sub>max</sub> (mm)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )				AE (kg/m <sup>3</sup> )
			W	C	S	G	
50	50	25	175	353	888	902	2.47

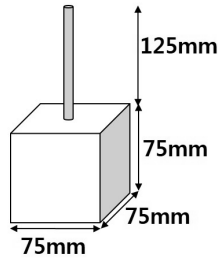
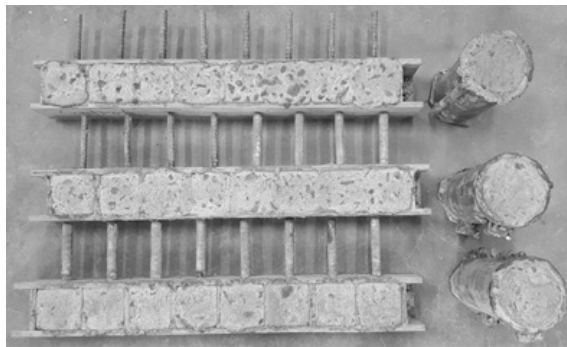


Fig. 3. Drawing of specimen



(a) Photo after concrete pouring



(b) Concrete samples under curing

Fig. 4. Various concrete specimens

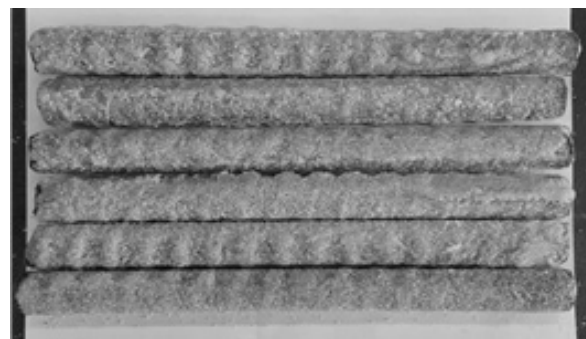
Table 1을 사용한 배합으로 재령 28일 공시체에 대해 압축강도를 측정된 결과, 평균 25.1MPa의 강도가 측정되었고, 공기량의 경우  $5.0 \pm 1.5\%$ , 슬럼프의 경우는 180mm로 측정되어 실험에 충분히 사용할 수 있을 것으로 판단하였다.

### 3. 동결융해 및 UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 인발거동 평가

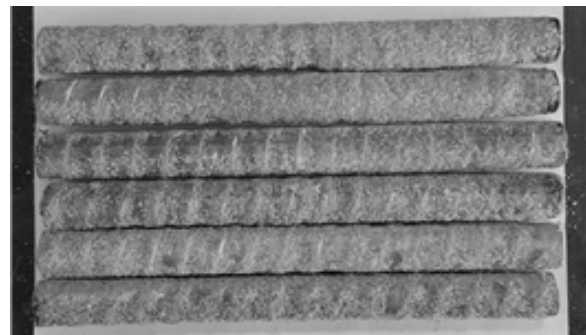
#### 3.1 동결융해 및 UV 폭로시험 이후 외관특성 분석

##### 3.1.1 UV 폭로시험 이후 FRP Hybrid Bar의 외관특성

UV 폭로시험은 FRP Hybrid Bar에 대해서만 실시하였고 Fig. 5에 UV 폭로시험 전/후의 FRP Hybrid Bar를 나타내었다. 외관상으로는 표면의 분진이 묻어나거나 산화(Chalking)현상에 의한 열화는 나타나지 않았다. 이는 FRP Hybrid Bar 표면의 규사코팅이 되어 자외선의 직접적으로 차단하기 때문이다. 하지만 FRP Hybrid Bar의 운송, 콘크리트 타설 및 UV 폭로시험 간 규사코팅의 일부 벗겨짐이 발생하였는데, 이러한 점에 대해서는 보완이 필요하다고 판단된다.



(a) Before test



(b) After test

Fig. 5. Photos for FRP hybrid bar before/after UV exposure test

### 3.1.2 동결융해시험 이후 FRP Hybrid Bar의 외관특성

동결융해시험은 인발시험 공시체 소요의 인발강도를 얻기 위해 180Cycle까지 진행하였다. KS 규격에서는 300Cycle까지 진행하도록 되었으나, 시험의 제한이 있어 180Cycle까지만 실험을 수행하였다. Fig. 6에는 동결융해 Cycle의 진행에 따른 공시체 모습을 나타내었다.

Cycle이 진행됨에 따라 콘크리트 공시체 표면에 동결융해 작용으로 인한 콘크리트의 박락이 일어났다. 하지만 크게 고려할만한 수준은 아니었고, 콘크리트 모재의 강도변화도 크게 발생하지 않았다. 이는 콘크리트의 공기량이 5.0~6.0%수준으로 확보되었기

때문이라고 판단된다.

### 3.2 FRP Hybrid Bar의 인발거동 평가

인발거동 평가는 일반철근, FRP Hybrid Bar, UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar를 사용한 철근 인발 공시체를 제작하였고, 동결융해 0Cycle, 120Cycle, 180Cycle의 총 3Case에 대해 인발거동 평가를 실시하였다. 인발시험을 위해 특수 제작된 강재 프레임을 이용하였으며, 이를 Fig. 7에 나타내었다. 인발거동 평가 간 프레임과 접촉하는 콘크리트 면에 국부적인 편심과 응력집중이 생길

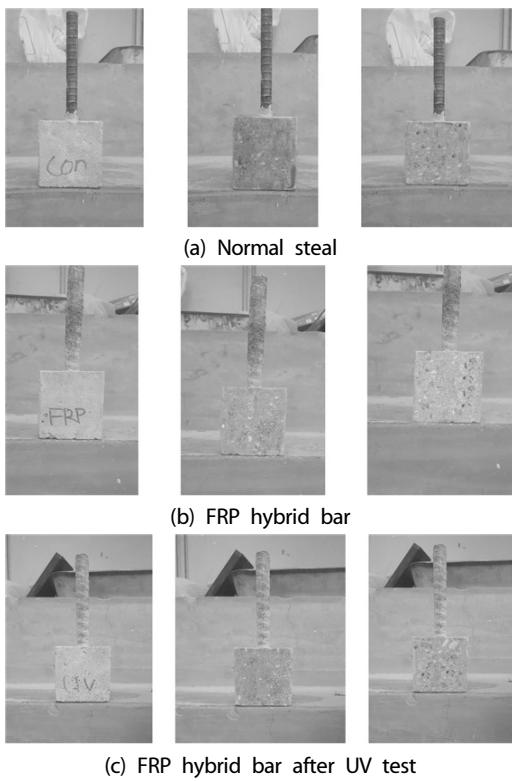


Fig. 6. Photos for concrete samples for pull off test after freezing/thawing test



Fig. 7. Steel frame



Fig. 8. Specimen with rubber plate

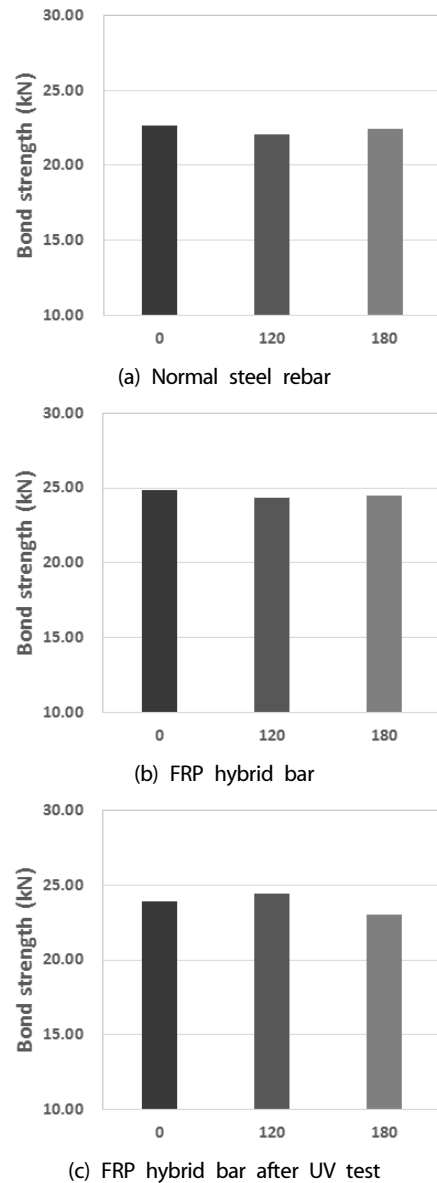


Fig. 9. Graph of Bond strength in each specimen

수 있으므로 Fig. 8과 같은 고무판을 이용하여 실험을 진행하였다.

Fig. 9에는 각 공시체 별로 동결융해 Cycle 진행에 따른 인발강도 측정 결과를 그래프로 도시하였다.

Fig. 9에서 알 수 있듯이, 모든 경우에서 비슷한 수준의 부착강도가 발생하고 있음을 알 수 있다. 일반철근에서는 Cycle이 진행됨에 따라 큰 차이가 발생하지 않았다. FRP Hybrid Bar의 경우, 일반철근보다 부착강도가 109.8% 수준으로 크게 평가되었는데, 이는 표면 규사코팅 영향으로 부착강도가 일부 증가한 것이다. 또한 UV 폭로시험을 거친 이후의 부착강도의 경우, 일반철근에 비하여 106.3% 수준으로 평가되었다. UV 시험전의 FRP Hybrid Bar보다 약간 감소하였으나, 이는 UV 폭로시험 시 표면에서 손실된 규사로 인해 부착면적이 줄어든 점의 영향이 지배적으로 판단된다.

FRP Hybrid Bar의 경우, UV 폭로시험 전에는 동결융해 Cycle의 진행에 따라 부착강도의 변화가 거의 없었으며, UV 시험을 거친 경우라 하더라도, Cycle 진행에 따른 부착강도의 큰 차이는 발생하지 않았다. 다만 강도 편차가 일부 발생하였는데, 이는 UV에 의한 열화가 아닌 표면 부착된 규사 코팅의 손실이 주된 원인이다.

#### 4. 결론

1. FRP Hybrid Bar의 UV 폭로시험 전/후를 비교하면, 에폭시계 재료의 표면 Chalking과 같은 열화는 나타나지 않았는데, 이는 표면에 규사코팅이 되어 있어 직접적인 UV 노출을 막아주기 때문이다. 하지만 본 실험에 사용된 FRP Hybrid Bar는 규사코팅이 되어있어 철근의 운송 및 콘크리트 타설 시 손실될 우려가 있어 이에 대한 보완이 필요하다고 판단된다.
2. 각 철근을 사용한 공시체의 인발강도 그래프는 모두 비슷한 경향을 나타내었고, 모든 공시체에서 동결융해 Cycle이 지남에도 불구하고 0Cycle 공시체의 인발강도와 큰 차이를 나타내지 않았다. FRP Hybrid Bar와 UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar를 사용한 공시체에서는 24±1kN수준의 인발강도가 측정되었고 일반철근 공시체 대비 약 106% 수준의 개선된 부착강도를 나타내었는데, 이는 FRP Hybrid Bar 표면의 규사코팅이 부착면적을 증가시키기 때문이다. 규사 코팅된 FRP Hybrid bar의 경우 UV의 열화 및 동결융해에 따라 큰 부착강도 저하는 발생하지 않았다.
3. FRP Hybrid Bar는 UV 폭로시험 전/후를 비교하였을 때 동결융해 Cycle의 진행에 따라 부착강도의 변화가 거의 나타나지 않았지만, 강도의 편차가 발생하였는데 이는 규사코팅의 손실로 인한 것으로 보인다.

4. 본 실험에서는 UV나 동결융해작용은 FRP Hybrid Bar의 외관 특성이나 부착강도에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 평가되었다. 그러나 동결융해를 거친 FRP Hybrid Bar에 대한 부식저항성에 대한 추가적인 연구는 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업(FRP Hybrid Bar를 활용한 해양항만구조물 수명향상기술 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### References

- Bhavesh G. Kumar., Raman P. Singh., Toshio Nakamura, (2002). Degradation of carbon fiber-reinforced epoxy composites by ultraviolet radiation and condensation, *Journal of Composite Materials*, **36(24)**, 2713–2733.
- Choi, K.S., You, Y.C., Lee, H.S., Kim, K.H. (2006). Experimental study on freezing–thawing and warm–moisture resistance of frp composites used in strengthening rc members, *Korea Concrete Institute*, **18(1)**, 345–348 [in Korean].
- Gomez, J., Casto, B. (1996). Freeze/Thaw Durability of Composite Materials, ICCI96, Proc. of first international Conference on Composites in Infrastructure, Tuscon, AZ, 947–955.
- Hwang, C.S., Park, J.S., Park, K.T., Kwon, S.J. (2017). Mechanical performance evaluation of rc beams with frp hybrid bars under cyclic loads, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **21(1)**, 9–14 [in Korean].
- Hwang, Y.E., Lee, G.H., Yoon, S.H. (2009). Effect of combined environmental factors on degradation behavior of carbon fiber/epoxy composites, *The Korean Society For Composite Materials*, **22(5)**, 37–42 [in Korean].
- KS F 2456. (2013). Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, Korean Agency for Technology and Standards [in Korean].
- KS M ISO 4892. (2012). Plastics–Methods of Exposure to Laboratory Light Sources–part 2: Xenon–arc sources, Korean Agency for Technology and Standards [in Korean].
- Kumar, G.G., Singh, R.P., Nakamura, T. (2002). Degradation

- of carbon fiber-reinforced epoxy composites by ultraviolet radiation and condensation, *Journal of Composite Materials*, **36(24)**, 2713–2733.
- Lee, B.S., Lee, D.C. (1999), A study on the surface degradation properties of epoxy/glass fiber treated with ultraviolet rays, *The Transactions of the Korean institute of Electrical Engineers*, **28(2)**, 86–91 [in Korean].
- Mehta, P.K, Monterio J.M. (1993). *Concrete: Structure, Properties, and Materials*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Oh, K.S., Park, K.T., Kwon, S.J. (2016). Evaluation of anti-corrosion performance of FRP hybrid bar with notch in ggbs concrete, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **20(4)**, 51–58 [in Korean].
- Park, K.T. (2013), Development of Enhancing Life Span Technology for Waterfront Structures using FRP Hybrid Bars, KICT [in Korean].
- Seo, D.W., Park, K.T., You, Y.J., Kim, H.Y. (2013). Enhancement in elastic modulus of GFRP bars by material hybridization, *Engineering*, **5(1)**, 865–869.
- Song, T.H., Choi, K.S., You, Y.C., Kim, K.H. (2006). Experimental study on ultra-violet resistance of FRP composites used in Strengthening RC members, *Korea Concrete Institute*, **18(1)**, 333–336 [in Korean].
- Ssadatmznes, H., Tannous, F. (1997). Durability of FRP rebar and tendon, *Non-Metalic (FRP) Reinforcement for Concrete Structure: Proceedings of ther third international symposium*, **2**, 107–114.

### 동결융해 및 UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 인발거동 특성 평가

FRP Hybrid Bar는 내부에 강재를 유리섬유와 에폭시 수지가 코팅된 형태로 사용되는데, 인장경화 성능이 있으며, 경량이므로 효과적인 보강재료로 사용될 수 있다. 자외선 및 동결융해에 노출된 에폭시는 표면 열화가 발생하기 쉬우며, 이는 매립된 철근 및 표면의 콘크리트와의 부착력 저하를 야기할 수 있다. 본 연구에서는 일반철근, FRP Hybrid Bar 및 자외선(UV) 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 외관특성분석을 실시하였다. 또한 각 보강재를 사용하여 콘크리트 인발 공시체를 제조하였으며, 동결융해시험을 실시해 Cycle에 따른 부착성능을 분석하였다. FRP Hybrid Bar는 UV 폭로시험 후에도 표면 산화(Chalking)와 같은 에폭시계 재료의 열화가 나타나지 않았다. 동결융해시험은 120Cycle 및 180Cycle까지 진행하였는데, UV 폭로시험 후 FRP Hybrid Bar를 사용한 공시체는  $24 \pm 1\text{kN}$  부착력을 가지고 있었다. 이는 일반철근 대비 약 106.3%수준으로 개선된 부착강도인데, FRP Hybrid Bar 표면의 규사코팅에 따라 부착면적이 증가했기 때문이다. 3가지 조건(일반철근, FRP Hybrid Bar, UV 폭로시험 후의 FRP Hybrid Bar)에 대하여, 동결융해 Cycle이 증가함에 따라 부착력이 크게 감소하지는 않았으나, 코팅된 규사의 박락으로 인해 UV 시험 이후의 동결융해를 거친 조건에서는 실험 편차가 상대적으로 증가하였다.