

UV 폭로 및 동결융해 시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 인장거동 평가

Evaluation of Tension Behavior in FRP Hybrid Bar Affected by UV Exposure and Freezing/Thawing Tests

윤용식¹ · 박재성¹ · 박기태² · 권성준^{1*}

Yong-Sik Yoon¹ · Jae-Sung Park¹ · Ki-Tae Park² · Seung-Jun Kwon^{1*}

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

The present work is for an evaluation of tension behavior and surface deterioration of FRP Hybrid Bar due to UV exposure and freezing/thawing(F/T) actions. For the work, FRP Hybrid Bar is subjected to UV exposure test, then F/T test is performed successively to 180 cycles. In FRP Hybrid Bar, no significant surface deterioration is evaluated after UV exposure. Tension hardening performance, a unique engineering advantage of FRP Hybrid Bar, is still maintained after F/T test. The performance in FRP Hybrid Bar exposed to UV is still effective. FRP Hybrid Bar exposed to UV have almost similar tension behavior of FRP Hybrid Bar without UV exposure. Although F/T cycles increase to 180, steel rebar, FRP Hybrid Bar, and FRP Hybrid Bar exposed to UV show no significant changes in tension behavior. In the work, UV exposure and F/T actions are evaluated to have little negative effect on surface deterioration and tensile performance in FRP Hybrid Bar, however spalling of silica coating due to impact should be considered since it affects bonding strength to outer concrete.

키워드 : 철근, FRP 하이브리드 바, 인장거동, 동결융해 시험, 자외선 폭로 시험

Keywords : Steel rebar, FRP Hybrid Bar, Tensile behavior, Freezing and thawing test, UV exposure test

1. 서론

콘크리트는 내구성, 내화성이 확보된 반영구적인 건설재료로 인식 되어왔으며, 철근과 함께 구조부재인 철근 콘크리트 구조(RC: Reinforced Concrete)의 형태로 현재까지 많이 사용되어왔다. 그러나 사용기간 중 콘크리트 및 철근에 유해한 열화인자의 영향으로 내구적인 문제가 발생하게 된다. 대표적인 열화인자로는 해양환경 및 제설제 사용과 같은 염해 환경을 들 수 있는데, RC 구조물이 이러한 환경에 장기간 노출되었을 경우 콘크리트내의 공극을 통한 염화물 이온 또는 이산화탄소 등으로 인해 매립된 철근의 부동태 피막(Passive Film)이 파괴되어 부식되고 이에 따라 내구적인 문제가 발생하게 된다(Broomfield 1997; Sadegh et al. 2015). 또한 염해환경에 RC구조물이 노출되면 콘크리트의 알칼리성이 저하되고 이에 따라 철근은 활성 상태가 되어 쉽게 부식하게 된다(Ai Amoudi and

Maslehuddin 1993). 미국의 경우 전체 교량의 약 30%에서 결함이 발견되어 보수 및 보강 작업이 필요하며 주된 원인이 RC 구조물 내의 철근의 부식으로 보고되었다. 미연방 고속도로관리협회에 따르면 연간 교량의 보수, 보강에 소요되는 예산은 약 2억 달러(약 2,400억 원)로 추정되고 있으며 고속도로 및 일반 도로의 유지비용까지 고려하면 매우 많은 예산이 보수·보강에 쓰이고 있는 실정이다(Hearle et al. 1969; U. S. Department of Commerce 1994).

이러한 내구적인 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔으며, 강재 자체 부식 방지 기술로서 에폭시 코팅철근, 용융아연도금 코팅 철근 등이 개발되어왔다(Ramirez et al. 1996; Oh et al. 1992). 최근 들어 해안이나 지하 구조물과 같은 염해 및 탄산화에 노출된 고부식 환경의 구조물에 대하여 부식문제를 해결하기 위해 FRP bar에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. FRP bar는 일반 철근에 비해 강도가 우수할 뿐 아니라 내부식성, 절연성, 고내구성 등의 장점을

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

¹한남대학교 건설시스템공학과 (Department of Civil Engineering, Hannam University, Daejeon, 34430, Korea)

²한국건설기술연구원 (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, 10223, Korea)

갖고 있으며, 자중이 가벼워 운송비 절감 등의 효과도 기대할 수 있다 (ACI 440.1R-06 2006; Choi et al. 2015; KICT 2013; Shin et al. 2006). 하지만 일반 철근에 비해 매우 고가이며, 낮은 탄성계수로 인해 처짐이 크게 발생하기 쉽고, 콘크리트 구조물의 취성파괴를 유도하게 되어 재료적, 구조적 한계를 가지고 있다(Seo et al. 2013).

최근에는 이러한 취성적 특성 및 낮은 탄성계수를 극복하고자 유리섬유와 강재를 에폭시로 일체화 시킨 FRP Hybrid Bar가 연구되고 있다. 고탄성계수 재료인 철근과 유리섬유를 에폭시로 결합하여 기존 FRP bar의 한계를 극복할 뿐만 아니라 일반 FRP bar 보다 상대적으로 경제적인 건설재료이다. 기존 FRP bar의 장점과 함께 항복이후의 인장경화 특성은 FRP Hybrid Bar의 주된 공학적 장점이다(Choi et al. 2015; KICT 2013; Seo et al. 2013). 기존의 연구에서 FRP Hybrid Bar의 내부식성, 부착성능, 인장 및 연성특성 등의 공학적 성능이 검증되었다(Oh et al. 2016; Seo et al. 2014). 하지만 FRP Hybrid Bar가 극심한 외부환경에 노출되었을 경우 코팅의 표면 열화 및 탈락 가능성에 관한 연구는 미비한 실정이다.

에폭시 수지는 동결융해에 노출될 경우 취성거동을 일으키며, 장기간의 자외선(UV)에 노출될 경우 변색, chalking 등의 열화를 나타내게 된다(Dan et al. 2012). 특히 chalking 현상은 수지내의 헤테로 원자가 자외선을 과다 흡수하여 산화되는 반응으로 표면의 마모(erosion)와 같은 현상이 발생하게 된다(Cho et al. 2008). FRP Hybrid Bar의 경우, 공장제품이므로 현장에서 철근 조립 및 타설 지연이 발생할 경우, 야적장에 존치되어지게 된다. 이러한 경우, UV 노출 및 동결융해 환경에 장기간 노출될 염려가 있고, 이에 따른 피해가 발생할 수 있다. 기존의 연구에서는 고온·고습, 기건 동결융해 환경에서 에폭시 수지의 성능을 평가하였다(Choi et al. 2006). 하지만 FRP Hybrid Bar에 대한 UV 폭로 및 동결융해환경에 관한 복합적인 연구는 아직 많이 이루어지지 않았고, 따라서 본 연구에서 FRP Hybrid Bar의 UV 및 동결융해 저항성을 복합적으로 평가하고자 한다.

본 연구에서는 FRP Hybrid Bar의 UV 및 동결융해 저항성을 평가하기 위해 일반 철근과 FRP Hybrid Bar를 대상으로 UV 및 동결융해 실험을 실시한 후, 표면 열화 검사, 인장거동 평가를 실시하여 UV 및 동결융해 노출 이후의 역학적 성능을 검토하였다.

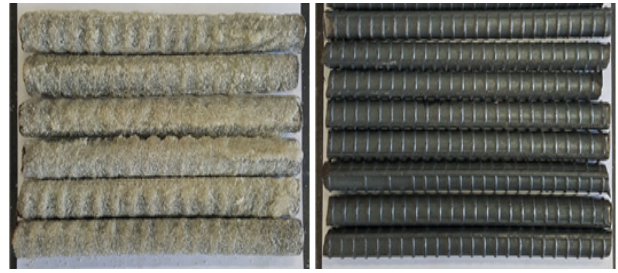
2. FRP Hybrid Bar의 인장특성 평가를 위한 시험 계획

2.1 사용재료

본 연구에서는 일반철근 및 FRP Hybrid Bar를 사용하여 인장

Table 1. Basic data of steel rebar and FRP hybrid bar

Valuable	Type	Diameter (mm)	Length (mm)	Applied test
Steel rebar	SD 400	13	200	- freezing and thawing test
FRP hybrid bar	SD 400	13	200	- freezing and thawing test UV exposure test



(a) Steel rebar (b) FRP hybrid bar

Fig. 1. Photos of steel rebar and FRP hybrid bar

거동을 비교 평가하였다. 일반 철근은 SD 400의 D13 이형철근을 사용하였다. FRP Hybrid Bar의 경우, 매립된 철근을 SD400의 D10 이형철근으로 하여 유리섬유를 에폭시 수지에 함침시키고, 섬유와 합성되는 재료를 노즐에 통과시켜 심재를 형성 시킨 다음 심재의 외부에 돌기사를 감아 돌기를 형성시킨다. 그 후 온도 90°C~110°C의 열관에 통과시키는 경화공정을 거쳐 제작한다. 최종적으로 외경이 D13인 규사 코팅된 FRP Hybrid Bar를 본 연구에 사용하였다.

UV 촉진내후성 시험기의 셀에 존치시킬 수 있는 철근의 길이가 최대 200mm인 점을 감안하여 FRP Hybrid Bar의 길이를 200mm로 설정하였고, 동일한 조건을 조성하기 위해 일반 철근의 길이도 이와 마찬가지로 하였다. Table 1은 본 연구에 사용한 철근의 제원을 나타내고, Fig. 1은 본 연구에서 사용한 일반 철근 및 FRP Hybrid Bar의 모습을 나타낸다.

2.2 실험개요

본 연구에서는 UV 폭로 및 동결융해 환경에 노출된 FRP Hybrid Bar의 인장 거동을 평가하기 위하여 KS 규격에 의거하여 UV 폭로 시험 및 동결융해 시험을 실시하였다.

UV 폭로시험은 KS M ISO 4892-2(2012)에 따라 온도 63±3°C, 습도 50±5%, 방사조도 0.51W/m², 파장 340nm의 조건으로 FRP Hybrid Bar에 대하여 실시하였다. UV 폭로시험은 총 400 시간에 걸쳐 수행하였고 여분용 시편을 감안하여 총 30EA의 FRP Hybrid



Fig. 2. UV weathering meter



Fig. 3. Freezing and thawing apparatus

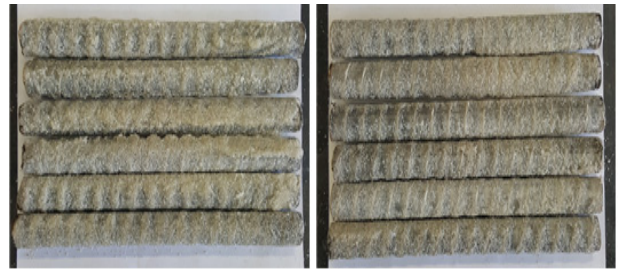
Bar에 대하여 실험을 실시하였다. Fig. 2는 본 연구에서 사용한 UV 촉진내후성 시험기의 모습을 나타낸다. UV 폭로시험 후 동결 융해 시험을 실시하였다. KS F 2456에 따라 일반 철근, FRP Hybrid Bar 및 UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar를 대상으로 약 3시간 동안 온도가 4°C에서 -18°C로 떨어지고, 다음에 -18°C에서 다시 4°C로 상승하는 것을 1cycle로 하여 실험을 수행하였다. 목표 cycle은 120cycle과 180cycle로 설정하였으며, Fig. 3은 본 실험에 사용한 동결융해 시험기의 모습을 나타내고 있다. KS 규격에서는 300cycle을 기준으로 하고 있으나, 본 연구에서는 시험조건상 최대 180cycle을 수행하였다.

3. UV 폭로 및 동결융해시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 인장 거동 평가

3.1 UV 폭로 및 동결융해시험 이후 외관 특성 분석

3.1.1 UV 폭로시험

400시간 동안의 UV 폭로시험 전/후의 FRP Hybrid Bar의 외관 모습은 Fig. 4에 나타냈다. Fig. 4에서 보이듯이 표면에서의 물어남이나 외관 산화(chalking) 현상 등 예폭시계 재료에서 UV에 의한 열화로 발생할 수 있는 현상은 나타나지 않았다. 기존의 연구결과에 따르면 FRP Hybrid Bar를 감싸고 있는 에폭시는 UV에 장기



(a) before UV exposure test (b) after UV exposure test

Fig. 4. Photos of FRP hybrid bar before/after UV exposure test

간 노출되면 chalking 현상 등 여러 가지 열화 현상이 발생한다고 알려져 있지만(Song et al. 2006), 본 연구에서 사용한 FRP Hybrid Bar에는 규사코팅이 추가적으로 실시되어있었기 때문에 UV 폭로로 인한 열화가 발생하지 않았다. 하지만 철근의 이동, 콘크리트 타설 및 시험 시 규사코팅이 일부 탈락될 가능성이 있어 이러한 점에 대한 보완이 일부 필요함으로 판단된다.

3.1.2 동결융해

Figs. 5, 6은 동결융해 시험 120, 180cycle 실시 후의 FRP Hybrid Bar와 UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 모습을 나타



(a) FRP hybrid bar (b) FRP hybrid bar-UV

Fig. 5. Photos of FRP hybrid bar after 120cycle of freezing and thawing test



(a) FRP hybrid bar (b) FRP hybrid bar-UV

Fig. 6. Photos of FRP hybrid bar after 180cycle of freezing and thawing test

낸다. 아래의 사진에서 보듯이 외관상 큰 차이가 발생하지 않았으며, 이는 FRP Hybrid Bar를 구성하는 유리섬유와 에폭시가 흡수성이 큰 재료가 아니기 때문에 사료된다. 동결융해 cycle이 증가하면서 규사 코팅이 벗겨지는 정도의 열화가 발생하였는데 이는 동결융해 시험 후 시편의 존치 환경 및 운반 과정을 고려하면 무시할 만한 수준이라고 판단된다.

3.2 FRP Hybrid Bar의 인장특성 평가

일반 철근, FRP Hybrid Bar 및 UV 폭로 시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 인장강도 평가는 UTM(Universal Testing Machine)을 이용하여 실시하였다. 각 철근의 중앙 60mm 부분에 strain gauge를 붙인 후 데이터 로거를 이용하여 변형률을 측정하였다. 본 연구에서 사용된 FRP Hybrid Bar는 극한상태의 하중 조건에서 슬립이 크게 발생하였다. 이는 모르타르로 단부 처리를 한 경우에도 발생하여 최종 파단시의 변형률 및 강도를 평가하지는 못하였으나, 항복하중까지의 값을 평가하는데는 큰 무리가 없다. 중앙부를 그라인딩하여, 규사 코팅을 제거하였으며, strain gauge를 3개 부착하여 평균값을 사용하였다. Fig. 7은 각 철근에 strain gauge를 붙인 모습을, Fig. 8은 철근 인장 실험 전경을 나타내고 있다.

Fig. 9에서는 각 철근에 인장 특성 그래프를 나타내고 있다. 일반 철근은 항복강도가 450MPa 수준으로 측정되었으며, 인장경화 특성은 거의 나타나지 않았다. FRP Hybrid Bar와 UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 항복강도는 약 360MPa로 측정되었으나 FRP Hybrid Bar의 인장경화특성으로 인하여 파괴시의 강도는 약 590MPa 수준으로 측정되었다. 주목해야할 점은 UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 인장거동인데, FRP Hybrid Bar와 거의 동일한 인장거동을 보인다는 점이다. 이는 UV 폭로시험이 FRP Hybrid Bar의 인장거동에 거의 영향을 미치지 않았다는 것으로 사료된다. 기존의 연구결과에 따르면 노출시간의 경과에 따라 FRP Hybrid Bar의 에폭시 부분에 chalking 현상은 심해지지만, FRP 복합체의 인장강도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(Song et al, 2006). 또한 전술한대로 규사 코팅에 따라 UV 차폐성을 증가시켰으며, 표면의 열화에 따른 인장거동에 영향이 거의 없음을 나타내고 있다.

또한, 일반철근, FRP Hybrid Bar, UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar에 대하여 각각 동결 융해 120, 180cycle을 진행한 후의 인장 특성 평가를 수행하였다. Fig. 10에서는 동결융해 시험을 거친 각 철근의 인장 특성 그래프를 나타내고 있다. Fig. 10에서 알 수 있듯이 모든 철근에서 동결융해 cycle이 진행됨에도 불구하고

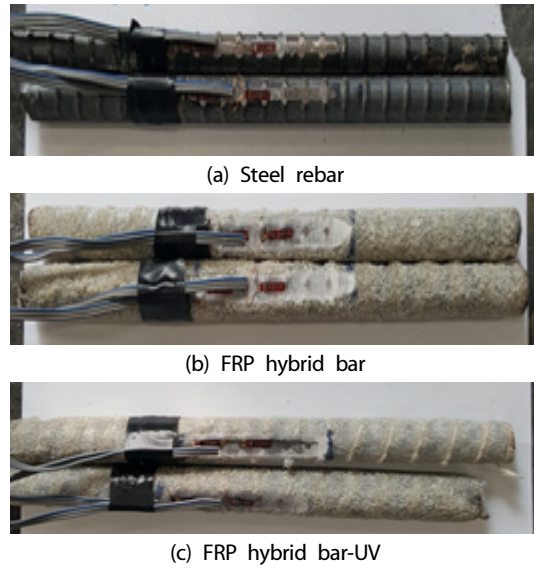


Fig. 7. Photos of strain gauge stuck on steel rebars, FRP hybrid bars and FRP hybrid bars exposed to UV



Fig. 8. Photo of tensile strength test

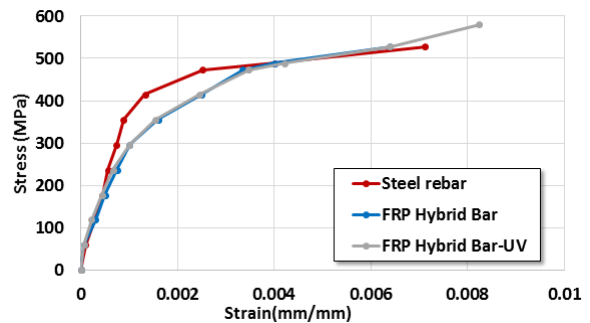


Fig. 9. Evaluation result of tension behavior

인장특성의 변화가 거의 나타나지 않았다. 그중 각 철근에서 180cycle의 인장특성이 조금 달라지는 경향이 나타나는데, 이는 strain gauge의 온도보정을 고려하지 않은 점을 고려하면 무시할 만한 수준이라고 사료된다. 기존의 연구에서는 기건동결-수증응해 조건에 노출된 유리섬유쉬트의 인장강도는 200cycle까지는 인장강도 변화가 거의 없지만, 300cycle에서 인장강도가 약 10%감소하였다(Choi et al, 2006). 하지만 본 연구에서는 동결융해 실험을 180cycle까지 진행하였고, FRP Hybrid Bar에서는 내부의 철근이 주된 역할을 하므로 강도 감소 등의 영향이 미비한 것으로 사료된다.

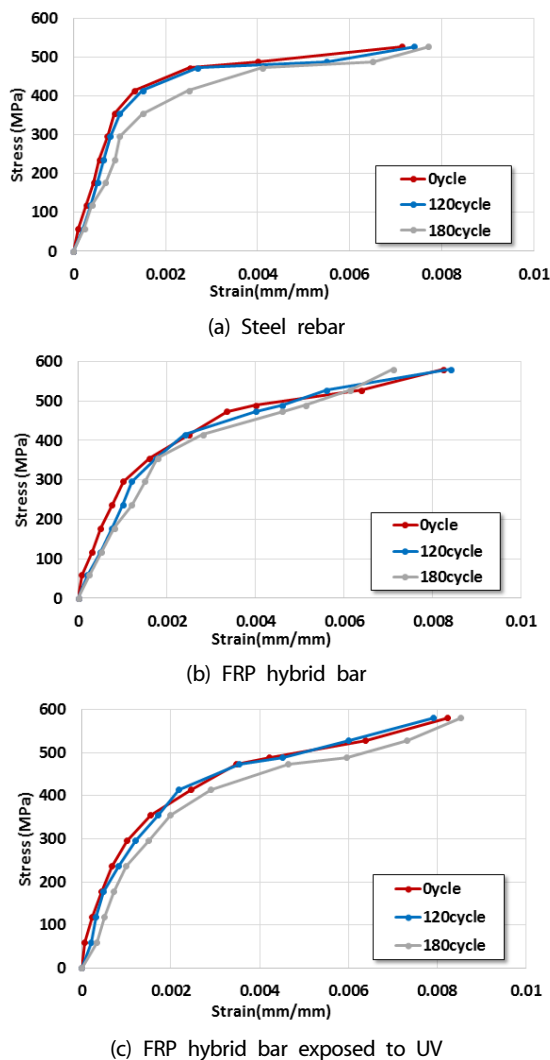


Fig. 10. Evaluation result of tension behavior after 0, 120 and 180cycle of freezing and thawing test

4. 결론

본 연구에서는 UV 폭로 및 동결융해 시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 인장거동을 평가하였다. UV 폭로 및 동결융해 시험 후 FRP Hybrid Bar의 외관평가와 일반 철근, FRP Hybrid Bar, UV 폭로 시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 동결융해 조건을 고려한 인장 거동을 비교 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. FRP Hybrid Bar의 UV 폭로시험 전/후, 동결융해 전/후에 대한 외관적인 변화는 거의 나타나지 않았다. 하지만 UV 폭로 및 동결융해 시험을 거치면서 FRP Hybrid Bar의 표면의 규사코팅이 조금씩 탈락되었다. 규사코팅의 경우 표면의 콘크리트와의 부착 면적을 증가시켜 안전한 부착성능을 확보할 수 있는 장점이 있으나, 장기적으로는 충격에 의한 규사 코팅 리바운드량을 최소화 할 수 있는 조치가 필요하다고 판단된다.
2. FRP Hybrid Bar의 주요 장점 중 하나인 인장경화특성은 동결융해를 거친 이후에도 유지된 것으로 나타났고, UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar에서도 같은 경향이 나타났다. 또한 인장경화특성이 유지 되었을 뿐 아니라, UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar에서 UV 폭로시험을 거치지 않은 FRP Hybrid Bar와 비슷한 인장거동을 나타내었고, 동결융해 cycle의 증가에도 FRP Hybrid Bar 및 UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 인장거동은 큰 변화를 나타내지 않았다.
3. 본 연구에서는 UV 폭로 및 동결융해에 따른 열화 영향은 철근과 FRP Hybrid Bar의 외관 및 인장 특성에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다. 그러나 UV 폭로 및 장기간의 동결융해를 거친 FRP Hybrid Bar를 대상으로 한 촉진 부식 및 부착력 평가에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

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

References

ACI 440.1R-06. (2006). Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforce with FRP Bars, ACI Committee 440.
 Al-Amoudi, O.S.B., Maslehuddin, M. (1993). The effect of

- chloride and sulfate ions on reinforcement corrosion, *Cement and Concrete Research*, **23(1)**, 139–146.
- Broomfield, J.P. (1997). *Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair*, E&FN, London, 1–15.
- Cho, H.G., Yoo, D.H., Kang, H.G. (2008). Surface characteristic and tracking resistance of epoxy insulating materials against ultraviolet, *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, **9**, 495–496 [in Korean].
- 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, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **18(1)**, 345–348 [in Korean].
- Choi, S.J., Mun, J.M., Park, K.T., Park, C.W., Kwon, S.J. (2015). Characteristics of flexural capacity and ultrasonic in RC member with corroded steel and FRP hybrid bar, *The Journal of the Korea Contents Association*, **15(8)**, 397–407 [in Korean].
- Dan, R., Liliana, R., Franica, M., Cristian–Dragos, V. (2012). Effect of UV radiation on some semi–interpenetrating polymer networks based on polyurethane and epoxy resin, *Polymer Degradation and Stability*, **97**, 1261–1269.
- Hearle, J.W.S., Grosberg, P., Backer, S. (1969). *Structural Mechanics of Fibers, yarns and fabrics*, Wiley–interscience, New York.
- KICT. (2013). *Development of Enhancing Life Span Technology for Waterfront Structures using FRP Hybrid Bars*, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology [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 4892–2. (2012). *Plastics–Methods of exposure to laboratory light sources–part 2:Xenon–arc sources*, Korean Agency for Technology and Standards [in Korean].
- Oh, B.H., Um, J.Y., Kwon, J.H. (1992). An experimental study on corrosion resistance of epoxy coated reinforcements, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **4(4)**, 161–170 [in Korean].
- Oh, K.S., Park, K.T., Kwon, S.J. (2016). Evaluation of anti–corrosion performance of FRP hybrid bar with notch on GGBFS concrete, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **20(4)**, 51–58 [in Korean].
- Ramirez, E., Gonzalez, J.A., Bautista, A. (1996). The protective efficiency of galvanizing against corrosion of steel in mortar and in Ca(OH)₂ saturated solutions containing chlorides, *Cement and Concrete Research*, **26(10)**, 1525–1536.
- Sadegh, P.A., Changiz, D., Ali, K. (2015). Corrosion protection of the reinforcing steel in chloride–laden concrete environment through epoxy/polyaniline–camphorsulfonate nanocomposite coating, *Corrosion Science*, **90**, 239–247.
- Seo, D.W., Park, K.T., You, Y.J., Hwang, J.H. (2014). Evaluation for tensile performance of recently developed FRP hybrid bars, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, **4(6)**, 631–637.
- 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**, 865–869.
- Shin, S.W., Ahn, J.M., Han, B.S., Seo, D.W. (2006). Effects of reinforcement ratio on concrete beams reinforced with FRP re–bars, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, **22(2)**, 19–26 [in Korean].
- 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, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **18(1)**, 333–336 [in Korean].
- U. S. Department of Commerce. (1994). *U. S. Industrial Outlook*, Bernan Associates, U. S., 5–11.

UV 폭로 및 동결융해 시험을 거친 FRP Hybrid Bar의 인장거동 평가

본 연구에서는 UV 폭로 및 동결융해 환경이 FRP Hybrid Bar의 인장거동 및 표면 열화에 미치는 영향을 평가하기 위해 FRP Hybrid Bar를 대상으로 UV 폭로 및 동결융해 시험을 실시하였다. FRP Hybrid Bar의 경우 UV 폭로 및 동결융해 180cycle 시험 전/후 외관적인 열화가 거의 발생하지 않았다. 또한 FRP Hybrid Bar의 주요 장점 중 하나인 인장경화특성은 동결융해 시험을 거친 이후에도 유지되었는데, 이는 UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar에도 유효하게 평가되었다. UV 폭로시험을 거친 FRP Hybrid Bar는 일반 FRP Hybrid Bar와 거의 비슷한 인장거동을 나타내었으며, 동결융해 180cycle의 진행에도 불구하고 일반철근, FRP Hybrid Bar, UV 폭로를 거친 FRP Hybrid Bar의 인장거동은 큰 변화를 나타내지 않았다. 본 연구에서는 UV 폭로 및 동결융해 환경이 FRP Hybrid Bar의 외관 및 인장 특성에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되지만, 충격에 따른 규사코팅의 박락은 콘크리트와의 부착력에 영향을 미치므로 이에 대한 고려가 필요하다.