

알칼리저항 초단유리섬유를 리브에 사용한 유리섬유 보강근의 내구성능

Durability of GFRP Rebar with Ribs Containing Milled Alkaline Resistant Glass Fibers

문도영¹⁾

오홍섭^{2)*}

Moon, Do Young

Oh, Hong Seob

Abstract

GFRP rebars could be deteriorated by concrete alkalinity. This paper focuses on the investigation of durability of GFRP rebars with ribs exposed to alkaline environment of concrete. It has been reported that the milled E-glass fibers in the ribs of GFRP rebar can increase bond strength between GFRP rebars and the concrete. In this study, the effect of milled alkaline resistant glass fibers (milled AR glass) and milled E-glass in the ribs on the durability of GFRP rebar is investigated through ISS tests and moist absorption tests of the bare rebar. To accelerate the effect of the alkalinity, high temperature(40°C) was applied. According to the test results, mix ratio of milled glass fibers in the ribs by weight had significant effect on durability of GFRP rebars with ribs. It is because that the high mix ratio may leads more voids in the ribs due to lower workability and formability. On the other hand, changing fiber type in the ribs from E-glass to AR-glass had no improvements on ISS strength of the GFRP rebar. Therefore, it is found that determination of proper mix ratio of milled glass fiber in the mixture for the formation of the ribs of the GFRP rebar is important.

Keywords : Accelerated tests, Alkaline resistant, Ar glass fibers, Durability, GFRP rebar

1. 서론

GFRP 보강근은 이형철근의 부식문제를 해결할 수 있는 여러 가지 대안 중 하나로 인식되어 왔다. 그러나, 그간 실험실 수준의 폭로실험을 통한 GFRP 보강근에 대한 장기적인 내구성능에 대한 연구가 수행되어 왔으며, 그 결과로 GFRP 보강근의 내알칼리성능과 흡습에 대한 문제가 제기된 바 있다.

GFRP 보강근은 인장성능을 담당하는 코어 부분과 부착성능을 담당하는 표면성형 부분으로 나눌 수 있다. 코어 부분은 섬유보강재로써 E-glass가, 매트릭스재로써 비닐에스터나 에폭시 등이 사용된다. 또한 표면성형부분에도 동일한 섬유와 레진이 사용된다. Won and Park(2006) 및 Benmokrane and Wang(2002)의 연구결과에 의하면, E-glass가 알칼리 폭로시험환경에서 큰 성능의 저하를 나타낸 것으로 보고되고 있다. 한편, 표면물질인 레진은 수분의 흡수에 의해 연화되고, 유리전이온도를 낮춤으로써, 크리프 변형에 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다

(Kajorncheappunngam 등, 2002; Hamidah 등, 2001).

이와 같은 연구결과는 콘크리트의 양생수와 알칼리성이 레진과 E-glass의 합성체인 GFRP 보강근의 장기내구성능에 저하를 가져올 수 있다는 것으로 해석될 수 있기 때문에 GFRP 보강근의 활용에 직접적인 장애요인으로 작용할 수 있다. 더구나 알칼리와 흡습에 의한 GFRP 보강근의 성능저하는 GFRP 보강된 구조물 자체의 내구성능을 저해할 뿐 아니라 보강근의 부착성능에도 영향을 미쳐 부착강도와 부착강성의 저하를 가져온다는 주장도 있다(Bank 등 2008).

Moon(2005)은 표면에 철근과 유사한 이형을 갖는 GFRP 보강근을 개발한 바 있다. 개발된 보강근은 코어부분에는 E-glass와 에폭시, 표면성형부분에는 초단유리섬유(milled E-glass)와 에폭시를 사용하여 성형성능과 부착성능을 개선시킨 제품이다. 그러나 개발자들은 개발된 보강근이 매입된 Pull-out 실험체를 고온의 알칼리용액에 장기간 노출시킨 후 인발실험을 실시하였으며, 이로 인한 부착강도의 저하를 보고한 바 있다(Moon 등

1) 정회원, 경성대학교 토목공학과 전임강사

2) 정회원, 경남과학기술대학교 토목공학과 교수

* Corresponding author : opera69@chol.co.kr 055-751-3299

• 본 논문에 대한 토의를 2011년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2011년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

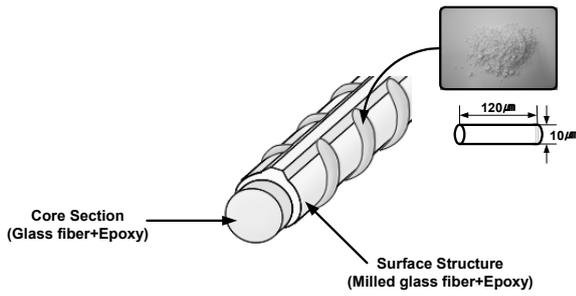


Fig. 1 Schematic of the used GFRP rebar(Sim et al., 2005)

2006). 따라서, 이와 같은 문제를 개선하기 위하여 개발된 보강근의 보강섬유의 종류와 혼입체적비 등이 장기내구성능에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 본 연구에서는 Moon(2005)이 개발한 보강근의 표면이형을 구성하고 있는 초단 E-glass를 대신하여 초단 AR-glass를 활용한 시제품을 제작하고 이를 알칼리용액과 증류수에 폭로함으로써, 그 영향을 고찰하고자 하였다. AR-glass는 E-glass의 내알칼리성능을 개선하기 위하여 개발된 유리섬유로서, 본 실험에서는 다른 제품 생산에 활용하고 남은 AR-glass를 활용하여 초단섬유로 재생산하였다. 본 논문에서는 초단 유리섬유의 종류(E-glass, AR-glass)와 섬유혼입량을 변수로 하여 폭로실험을 수행한 결과를 제시하였다. 폭로실험에 사용된 용액은 증류수와 알칼리용액이며, 조건을 가혹하게 하기 위하여 노출온도를 40℃로 하였다. 노출된 실험편의 전단강도와 중량변화를 통하여 그 영향을 고찰하였다.

2. 실험

2.1 사용된 GFRP 보강근

본 실험에서 사용된 GFRP 보강근은 표면에 철근과 유사한 형태의 이형을 갖는 보강근이다. 코어부분은 일반적인 인발성형기법을 통해 제작되며, 동시에 표면성형은 프레스공정을 통해 제작된다. 다음의 Fig. 1은 실험에서 사용된 GFRP 보강근의 구성을 나타내고 있다. 또한 Fig. 2는 이형의 SEM영상을 나타내고 있다. 그림과 같이 이형 부분에 많은 초단섬유가 혼입되어 있는 것을 볼 수 있다.

본 실험에서 3 종류의 보강근이 사용되었다. 코어부분은 동일하지만, 표면성형부분의 재료는 각각 다르며, 표면이형에 사용된 초단섬유의 종류와 혼입량에 따라 AR2, E5 및 E2로 명명되었다. AR 및 E는 AR-glass 및

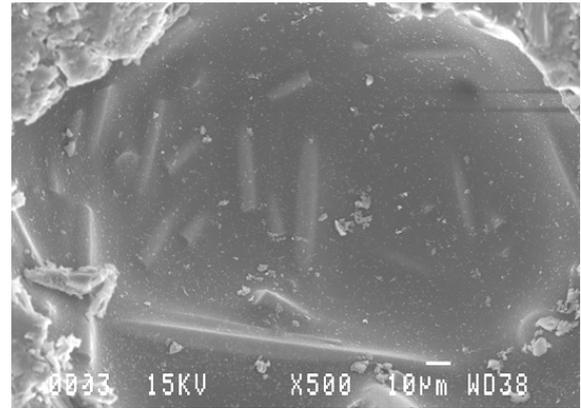


Fig. 2 SEM image of a rib

Table 1 The used GFRP rebar

Name of specimens	Glass fiber type in ribs	Mix ratio by weight
AR2	Milled AR glass	Glass fibers 20% Epoxy resin 80%
E5	Milled E-glass	Glass fibers 50% Epoxy resin 50%
E2	Milled E-glass	Glass fibers 20% Epoxy resin 80%

Table 2 Exposure conditions for accelerated tests

Name of specimens	Solutions	Temperature (°C)	Duration (days)	Num. of specimens
AR2	CaOH ₂ (pH 12.3)	40	60	10
	Distilled water (pH 7.0)			10
E5	CaOH ₂ (pH 12.3)	40	60	10
	Distilled water (pH 7.0)			10
E2	CaOH ₂ (pH 12.3)	40	60	10
	Distilled water (pH 7.0)			10

E-glass를 나타내며 숫자는 중량에 대한 혼입량을 나타낸다(Table 1 참고).

2.2 폭로시험조건

Table 2는 본 실험에서 적용된 폭로시험조건을 나타내고 있다. 첫 번째 노출조건은 40℃의 증류수에 60일간 노출시키는 것이며, 두 번째는 40℃의 CaOH₂(pH 12.3) 용액에 60일간 노출시키는 것으로 설정하였다. 비교를 위한 기준시험체(Control specimen)는 대기상태에 60일



Photo 1 distilled water exposure condition



Photo 2 CaOH₂ exposure condition



Photo 3 ISS test

간 두었다. 각 10개의 보강근 시편을 각 폭로시험조건마다 노출하였으며, 이중 5개는 흡습시험에 5개는 파괴시험에 사용하였다.

Photos 1과 2는 이형 GFRP 보강근의 알칼리 및 증류수의 폭로전경을 나타내고 있다.

Litherland 등(1981)은 FRP 복합체의 실험을 통해 복합체에 가해지는 노출조건(온도 및 기간)과 실제 열화기간과의 상관식을 다음 식(1)과 같이 제안한바 있으며, Ganga Rao and Vijay(1997)은 식의 효용성을 증명한바 있다. 본 식에 의한 평가결과, 폭로조건은 실제 열화기간 약 5년으로 평가할 수 있다. 본 실험의 폭로조건은 이와 같은 배경하에서 결정되었다.

$$\frac{N}{C} = 0.098 \exp(0.0558 T) \quad (1)$$

여기서, N은 실제 열화일수(day), C는 실험에 적용된 폭로일수(day), T는 폭로온도(°F)이다.

2.3 흡습시험

3종류의 이형 GFRP 보강근 실험편은 5cm 크기로 절

단된 후 절단면에 의한 수분 및 용액 침투 및 확산 영향을 배제하기 위하여 절단면에 에폭시레진을 도포하였다. 용액에 함침하기전에 각 보강근별로 5개의 실험편의 중량을 1/1000그램 정밀도의 저울을 이용하여 계측하였으며, 이 중량을 다음의 식(2)의 초기중량(W_i)로 간주하였다. 실험편은 각 용액에 60일간 완전히 잠기도록 하였으며, 이후 꺼내어진 실험편은 바로 용액을 닦아내고 다시 동일한 저울을 이용하여 실험편의 중량을 계측하고, 이를 식(2)의 폭로 후 중량(W_f)으로 간주하였다.

$$W\% = \frac{W_f - W_i}{W_i} \quad (2)$$

2.4 ISS 실험

ISS는 Interlaminar Shear Stress의 약어로서, ASTM D4475(Apparent Horizontal Shear Strength of Pultruded Reinforced Plastic Rods By The Short-Beam Method)에 규정된 시험방법이다. 본 실험 방법은 주로 환경적 영향이 FRP 보강근의 물리적성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 가장 범용적으로 채택되는 실험방법이다(Won and Park, 2006; Al-Dulaijan, 1996). 알칼리와 증류수에 폭로로 인한 섬유와 레진간의 접착력(Adhesion) 약화는 전단강도의 약화를 가져오기 때문이다. 전단강도는 다음의 식(3)을 통해 결정할 수 있다. Photo 3은 ISS 실험체의 전경을 나타내고 있다.

$$S = 0.849 \frac{P}{d_b^2} \quad (3)$$

여기서, S는 전단강도(MPa), P는 실험편의 파괴시 하중

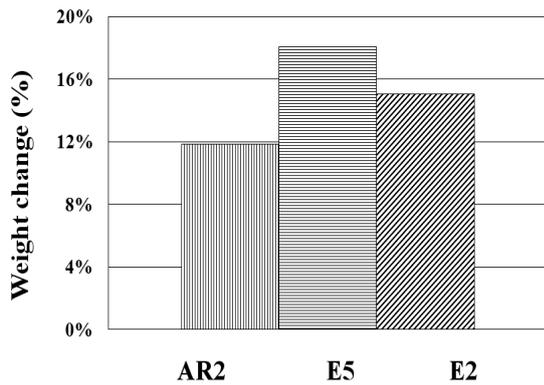


Fig. 3 Weight changes of specimens in distilled water

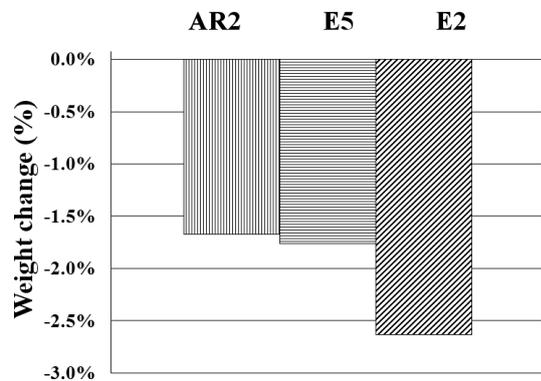


Fig. 4 Weight changes of specimens in CaOH₂ solution

(N), d_b 는 실험편의 공칭직경으로 본 실험에서는 9mm 직경의 보강근을 사용하였다.

3. 실험결과분석

3.1 중량변화

Figs. 3과 4는 중량변화결과를 나타내고 있다. 제시된 결과는 5개 실험편 중량 변화치의 평균값이다. 전반적인 결과를 살펴보면, 알칼리용액에 폭로된 실험편의 중량은 감소한 반면, 증류수에 폭로된 시험체는 중량이 증가하는 결과를 나타냈다.

증류수에 노출된 실험편의 중량증가는 보강근의 코어부와 표면이형부에 주로 존재하는 공극(Voids)을 통한 수분의 침투, 확산이 주된 요인이다. 이와 같은 GFRP 보강근에 침투된 수분은 보강근의 연화(Plasticization)와 가수분해(Hydrolysis)현상의 원인이 되며 보강근의 열화에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Mufti 등 2006). Fig. 3에 제시된 바와 같이 중량의 증가는

AR2가 가장 적으며, E5와 E2는 거의 비슷하지만 E5가 큰 것으로 나타났다. 전술한 바와 같이 AR glass는 지르코늄(ZrO₂)옥사이드가 1-18%정도 함유된 재료로써, 알칼리성능이 개선된 유리섬유이다. 따라서, 증류수에 노출되었을 때는 특별한 차이나 성능개선을 기대할 수 없다. 그러므로, 본 실험에서 AR2가 타 보강근 보다 중량의 증가가 적은 것은 다른 요인, 즉 표면에 발생하는 물리적 공극에서 그 원인을 찾아야 한다. 코어부의 공극은 보강근이 한 공정내에서 생산되었으므로 모든 보강근이 거의 유사하다고 가정할 수 있다. 그러나 표면에 구축된 재료에 따라서 표면성형부에 공극의 양은 달라질 수 있으며, 이는 표면성형재료의 작업성(Workability) 및 점성(Viscosity)과 관련이 되어 있다. 본 결과는 이 영향을 반영하고 있다. 즉, 초단섬유의 혼입량이 50%인 경우 점성이 크게 증가하고, 작업성이 떨어짐으로 표면 이형부에 상대적으로 많은 공극을 발생시키며, 이는 코어부에도 수분의 침투를 용이하게 하기 때문이다. 유사한 결과를 Moon 등(2008)의 연구결과에서도 확인 할 수 있다.

한편, 수산화칼슘 용액에 폭로된 실험편의 중량이 감소된 것은 표면처리된 Sizing 재료의 분해로 설명될 수 있으며, Nishizaki and Meiarashi(2002)의 연구결과에서도 확인할 수 있다. Fig. 4를 살펴보면 AR2의 중량감소가 상대적으로 가장 작지만, 전체 중량감소 범위가 2% 정도로 매우 적어 알칼리 섬유에 대한 영향으로 개선된다고 판단하기에는 미미하다. AR2와 E2와는 1%, E5와는 0.2% 차이가 남을 알 수 있다. 결과적으로, 혹독한 폭로조건에도 불구하고 표면성형부에 혼입된 섬유의 종류에 상관없이 전체적으로 알칼리에 의한 영향이 크지 않을 뿐 아니라, 섬유의 종류가 바뀌더라도 서로간의 차이가 1% 미만으로 무시할 정도임을 확인 할 수 있다. 이것은 모든 보강근 코어부는 E-glass로 동일하며, 표면성형부에만 AR-glass가 포함되어 있기 때문에 그 영향이 매우 제한적인 것으로 판단된다.

3.2 ISS 결과

Fig. 5는 기준실험체(Control)와 폭로된 실험체의 ISS 실험중 획득한 응력-변형률 그래프를 나타내고 있다. 제시된 바와 같이 응력이 폭로에 의해 적어지는 것을 확인할 수 있다. 또한 강성의 감소도 미미하지만 관찰되어진다.

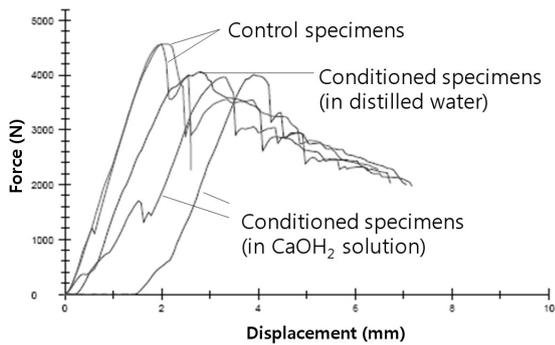


Fig. 5 Stress-strain curves from ISS tests

Figs. 6과 7은 ISS 결과를 나타내고 있다. 우선, 비교를 위한 기준실험체의 전단강도는 49.8MPa인 것으로 나타났으며, 막대 위에 제시된 %값은 이에 대한 강도의 비를 나타내고 있다.

증류수에 폭로된 실험체의 ISS 결과를 살펴보면, AR2는 약 11%, E2는 10%의 강도감소를 나타내며, 서로 다른 섬유임에도 불구하고 유사한 결과를 확인할 수 있다. 그러나 E5의 경우 16%의 감소를 보임으로써, 상대적으로 큰 강도감소를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이는 증류수의 침투로 인하여 코어부의 섬유와 레진간 결합이 약화됨으로써, 발생하는 강도의 감소이며, 흡습에 의한 중량증가 결과와도 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 즉, 이와 같은 결과는 섬유종류의 차이에 의한 결과이기 보다는 섬유의 혼입률에 의한 작업성과 점성차에 기인한 공극과 더욱 관련이 있는 것으로 판단할 수 있다(Fig. 6 참조).

한편, 알칼리 용액에 폭로된 실험체의 결과를 살펴보면, 전단강도의 감소정도가 증류수에 비하여 3%에~6% 정도 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 증류수 보다는 알칼리용액에 의해 코어부의 E-glass 섬유와 레진간의 결합 약화가 조금 더 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 섬유 종류에 따른 강도감소를 비교하면, AR2와 E2가 16%의 강도감소를 보인데 반해, E5의 경우에는 19%로 큰 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 이형에 혼입된 초단섬유 종류의 영향은 거의 없는 반면, 혼입량에 따른 강도감소가 훨씬 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 알칼리저항유리섬유(AR-glass)를 에폭시와 결합한 새로운 재료의 이형 GFRP 보강근의 부착 성능개선을 위한 표면성형 재료로 활용성을 검토하기 위

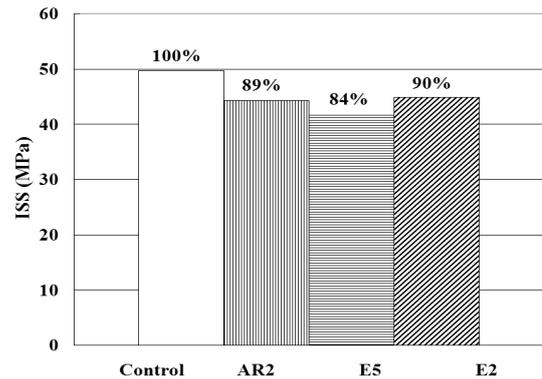


Fig. 6 Averaged ISS of specimens immersed in distilled water

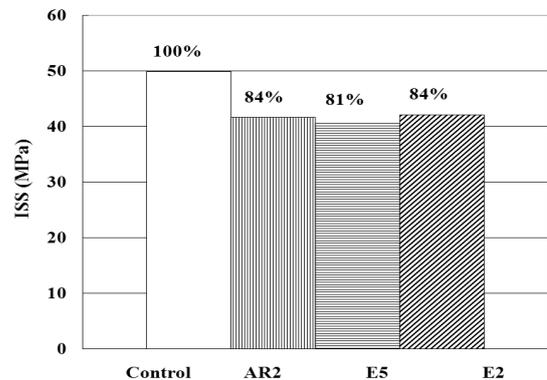


Fig. 7 Averaged ISS of specimens immersed in CaOH₂

한 실험적 연구를 수행하였다. 표면성형재료에 혼입되는 초단유리섬유의 종류와 혼입량을 변수로 실제 열화기간 약 5년에 해당하는 폭로실험을 수행하였으며, 그 결과를 중량의 변화와 전단강도의 변화를 비교, 고찰하였다. 본 연구를 통해 획득한 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 증류수 폭로로 인해 보강근 실험편의 중량증가를 확인하였다. 이는 표면성형부를 통한 수분의 침투, 확산에 의한 결과이며, 섬유 혼입량에 큰 영향을 받는 것을 확인하였다. 한편, 알칼리용액의 폭로로 인해서는 오히려 중량이 감소하는 것을 확인하였는데, 이는 알칼리용액에 섬유의 sizing 재료가 용해되어 빠져나오기 때문이며, 알칼리저항섬유(AR-glass)를 사용한 경우 감소가 적긴 하지만 차이가 미소하여 공학적인 의미는 크지 않다.
- 2) 콘크리트의 알칼리환경 및 수분에 의하여 이형 GFRP 보강근의 전단강도가 최대 20% 감소하는 결과를 나타내었다. 본 폭로실험 조건이 5년의 실제 열화기간을 모사한다는 것을 감안한다면, 상당히

큰 강도 감소를 확인 할 수 있다.

- 3) 또한, ISS 결과 분석결과에 의하면, 당초 예상과 달리 섬유 종류보다는 혼입률이 강도에 미치는 영향이 큰 것을 확인하였다. 섬유와 에폭시의 혼합시 섬유 혼입률의 증가는 작업성과 표면성형성에 영향을 미침으로써, 표면성형부에 공극의 발생을 증가시키는 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 흡습에 의한 중량변화를 고찰한 결과로부터 확인 할 수 있었다. 따라서, 이형 GFRP 보강근의 내구성을 확보하기 위한 여러 가지 방안 중 표면이형에 혼입되는 섬유만을 알칼리저항섬유로 대체하는 것은 효과가 제한적이며, 오히려 작업성과 성형성을 개선시키는 방안을 찾는 것이 더욱 효과적임을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2010학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Al-Dulaijan, S. U., "Effect of Environmental and Mechanical Conditioning on Bond between FRP Reinforcement and Concrete", Ph. D. dissertation, The Pennsylvania State Univ., 1996, PA USA.
2. Bank, L. C., Puterman M. and Katz, A., "The effect of Material Degradation on Bond Properties of Fiber Reinforced Plastic Reinforcing Bars in Concrete", ACI Journal, Title No.95-M22, 1998, pp.232-243.
3. Bemmokrane, B., Wang, P., Ton-That, T. M., Rahman, H. and Robert, J., "Durability of Glass Fiber-Reinforcing Bars in Concrete Environment", Journal of Composites for Construction, Vol. 6, No. 3, 2002, pp.143-153.
4. Ganga Rao, H. V. S. and Vijay P. V., "Aging of Structural Composites Under Varying Environmental Conditions", Proc. 3rd Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, International Symposium, Sapporo, Japan, October 14-16th, 1997, Sapporo Japan, Vol. 2, pp.91-98.
5. Hamidah, H. M., Gowripalan, N. and Fadhil, N. M., "Absorption of Aramid Prestressing Rods in Aggressive Solutions", Journal of Composites for Construction, Vol. 5, No. 4, 2001, pp.254-257.
6. Kajorncheappunngam, S., Gupta, R. K. and Gangarao, H. V., "Effect of Aging Environment on Degradation of Glass-Reinforced Epoxy", Journal of Composites for Construction, Vol. 6, No. 1, 2002, pp.61-69.
7. Litherland, K. L., Oakley, D. R. and Proctor, B. A., "The Use of Accelerated Ageing Procedures to Predict the Long Term Strength of GRF Composites", Cement and Concrete Research, Vol. 11, 1981, pp. 455-466.
8. Moon, D. Y., "Bond behavior of newly developed Deformed GFRP Rebars", Ph.D. Dissertation, Hanyang Univ., 2005, Korea.
9. Moon, D. Y., Oh, H. and Sim, J. and Benmokrane, B., "An Exploratory Study of GFRP Rebar with Ribs Containing Milled Glass Fibers", Composites Part B: Engineering, Vol. 39, 2008, pp.882-890.
10. Mufti, A. A. et al., "New CHBDC Provisions for Design of Fibre Reinforced Structures", The 7th International Conference on Short and Medium Span Bridges, 2006, Paper No. AM-028.
11. Nishizaki, I and Meiarashi S., "Long-Term Deterioration of GFRP in Water and Moist Environment", Journal of Composites for Construction, Vol. 6, No. 1, 2002, pp.21-27.
12. Sim, J., Moon, D. Y. and Oh, H., "Bond Performance of Deformed GFRP Rebar with Milled Fibers to Concrete", Proc. 7th Int. Symp. on Fiber Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-7), ACI SP-230, 2005, pp.1497-1514.
13. Won, J. and Park, C., "Effect of Environmental Expose on the Mechanical and Bonding Properties of Hybrid FRP Reinforcing Bars for Concrete Structures", Journal of Composite Materials, Vol. 40, No. 12, 2006, pp. 1063-1076.

(접수일자 : 2010년 7월 13일)

(수정일자 : 2010년 11월 12일)

(심사완료일자 : 2010년 12월 3일)

요 지

GFRP 보강근은 콘크리트의 알칼리성분에 의해 손상 받을 수 있다. 본 논문은 이형 GFRP 보강근의 알칼리에 대한 내구성을 증진시키기 위한 방법에 대한 실험적 연구이다. 기존 개발된 이형 GFRP 보강근의 표면물질에 삽입되는 초단유리섬유는 콘크리트와의 부착성능을 향상시키는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 초단 알칼리저항섬유(AR-glass)와 E-glass 섬유를 표면이형의 구성물질로 활용하였을 때, 보강근의 내구성능에 미치는 영향을 흡습시험과 ISS 실험을 통하여 규명하고자 하였다. 혹독한 실내실험조건을 위하여 40℃의 온도가 적용되었다. 실험결과, 표면성형을 위한 레진과의 합성물로써, E-glass와 AR-glass를 사용하였을 때, 내구성능에 큰 차이는 없는 것을 확인하였다. 오히려, 레진과 섬유의 혼합비가 작업성과 성형성에 영향을 미치고, 이것이 표면 이형부에 공극을 만들게 됨으로써, 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서, 장기적인 내구성능 확보를 위해서 혼입물의 결정에 주의를 기울여야 한다.

핵심 용어 : 폭로실험, 알칼리환경, 알칼리저항 유리섬유, 내구성, GFRP 보강근
