

# 동결융해에 따른 FRP 보강 콘크리트 부재의 압축강도 성능 평가

이경복\*, 정우영\*

\*강릉원주대학교 토목공학과

e-mail:whiteblow1025@naver.com

## Evaluation of Compressive strength performance according to freezing and thawing of FRP reinforced concrete members

Gyeong-Bok Lee\*, Woo-Yeong Jung\*

\*Dept. of Civil Engineering, Korea University

### 요약

국내에서 콘크리트 부재에 대한 FRP보강에 관한 연구는 많이 진행되고 있다. 일반적으로 FRP 보강에 따른 압축 및 휨부재의 특성 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 콘크리트 압축부재에 관하여 FRP보강에 대한 동결융해에 관한 연구는 비교적 적은 것으로 보인다. 본 연구는 이들 일반적인 콘크리트와 섬유보강 콘크리트에 관하여 동결융해 시험 및 압축강도시험을 통하여 각 성능을 평가하였다. 각 콘크리트 보강에 사용된 섬유는 Basalt Fiber(현무암 섬유)를 사용하였으며, 형태는 Multi Roving을 사용하여 보강하였다. 또한, 동결융해시험의 경우, 100cycle, 200cycle, 300cycle로 나누어 진행하고 있다. 동결융해시험 및 압축강도시험은 한국 규격인 KS규격에 따라서 Case에 따라 3개의 시편을 준비 및 사용하여 시험을 진행하고 있다.

## 1. 서론

기둥과 같은 압축부재는 건축 및 몇몇의 토목 구조물에 있어서 기본 뼈대가 되는 구조물로서 구조물 내에서 큰 비중을 차지하고 있다. 그러나 대부분의 구조물들이 노후화 및 구조적인 손상이 발생하고 있다. 이에 따라 많은 보강할 필요성이 부각되었다. 이를 보강하기 위한 공법은 콘크리트 피복공법, 모르타르 부착공법, 프리캐스트 패널조립공법 등의 단면중설 공법과 강판을 이용한 보강방법 및 탄소섬유 슈트 등의 FRP를 부착 및 FRP를 사용한 래핑공법 등 여러 보강기법이 있다.

본 연구는 기둥 등의 압축부재 보강기법 중 FRP를 래핑하여 보강하는 래핑공법을 대상으로 진행할 예정이며, 콘크리트 압축부재는 KS F 2405기준인 공시체를 사용하였다. 또한 동결융해시험 역시 KS F 2456 및 ASTM D 2243의 기준을 따라 시행하였으며, BFRP Roving을 사용하여 공시체를 래핑하여 보강작업을 수행하였다. 본 연구는 동결융해가 진행됨에 따라 래핑보강 방법을 시행할 때 각 Case 별 압축부재 및 FRP보강을 한 압축부재의 압축성능을 평가 및 비교하여, 노후화에 따른 래핑보강의 성능을 알아내고, 최적화된 보강효과를 분석하여 적용할 수 있도록 하는 것에 있다.

## 2. 재료 및 시편 제원

### 2.1 섬유(Fiber)

본 연구에서 사용한 섬유는 현무암 섬유(Basalt Fiber)를 사용하였으며, 콘크리트 공시체에 사용한 보강 재료이다. 제원은 [그림 1]과 [표 1]에 제시하였다.



[그림 1] 현무암 섬유

[표 1] 보강 현무암 섬유 제원 및 정보

형태	밀도( $g/cm^3$ )	보강두께	양생온도
Multi Roving	2.65	2mm	20℃

## 2.2 에폭시 및 경화제(Epoxy)

에폭시 및 경화제 등의 수지는 상온양생수지를 사용하였으며, 각각 1050/1056S를 사용하였다. 콘크리트 래핑보강에 섬유와 함께 사용하며, 제원은 [그림 2] 및 [표 2]와 같다.



[그림 2] 사용 에폭시 및 수지

[표 2] 에폭시 및 수지 제원

Mixing Ratio (Resin : Hardener)	Density (g/mL)	Viscosity	Geltime on 2mm Thick at 23℃
100 : 35	1.10	462	3h 10min

## 2.3 콘크리트(Concrete)

각 콘크리트 공시체는 KS F 2403의 기준을 참고하여 일반적인 압축강도시험에 적용되는 100×100×200mm의 공시체를 제작하였으며, 보강을 진행할 콘크리트 공시체의 경우 기존 사이즈의 공시체의 크기에 알맞은 범위에 균등하게 보강하기 위하여 100×100×250mm의 공시체를 제작하였다. 각 Case 별로 나누어 콘크리트 공시체를 제작하였으며, 각 Case는 동결융해를 거치지 않은 일반콘크리트, 100cycle, 200cycle, 300cycle의 동결융해를 거친 콘크리트이며, 각 Case 별로 비보강 콘크리트와 래핑보강을 한 콘크리트로 나누어 각 상황에 따른 래핑보강의 효율을 보고자 하였다. 이에 해당하는 콘크리트 공시체의 정보는 [표 4]에 제시하였다.

[표 3] 사용 콘크리트 배합비

$G_{max}$ (mm)	W/C(%)	공기량(%)	S/a(%)	단위시멘트(g)
25	60	5	39	330



[그림 3] FRP 보강 전후 콘크리트 시편 제작 사진

[표 4] 콘크리트 공시체 상세정보

Case	보강유무	시편명	공시체 크기
Case I 일반 콘크리트	X	N	100×100×200
	O	NW	100×100×250
Case II 동결융해 100Cycle 적용 콘크리트	X	N100	100×100×200
	O	NW100	100×100×250
Case III 동결융해 200Cycle 적용 콘크리트	X	N200	100×100×200
	O	NW200	100×100×250
Case IV 동결융해 300Cycle 적용 콘크리트	X	N300	100×100×200
	O	NW300	100×100×250

## 3. 시험계획 및 방법

### 3.1 동결융해 시험

본 연구에서는 콘크리트의 동결융해의 진행도에 따라서, 콘크리트 부재의 압축거동을 평가하는 것으로, KS F 2456에 따라 cycle은 2시간 ~ 4시간 이내로 설정하였다. 현재 급속 동결융해 시험을 진행 중이며, 동결융해 시험을 진행하기 전의 콘크리트 공시체의 배치는 [그림 5]에 나타내었다. 100cycle, 200cycle, 300cycle에 대하여 진행할 예정이며 그 중 300cycle에 해당하는 Case IV의 공시체는 현재 동결융해 시험은 완료한 상태이다.



[그림 5] 동결융해 중인 보강 전 콘크리트 시편

### 3.2 FRP 보강

FRP 보강은 [그림 6]과 같은 작업으로 이루어졌으며, 100x250mm 공시체에 래핑 전용기기로 BFRP Multi Roving 및 에폭시 등의 수지를 사용하여 보강한 후 상온에 24시간 양생하였다.



[그림 6] FRP 래핑 보강 과정

### 3.3 압축강도 시험

압축강도시험은 KS F 2405에 따라 진행할 예정이며, FRP 보강을 한 공시체의 경우 이에 따라 절단 작업을 하여 KS규격을 만족 시킨 후, 그라인딩 작업을 하여 변수를 제거하여 30t급 만능재료 시험기를 통해 압축강도 시험을 진행하였다. 현재 Case I, IV의 시편은 시험을 완료한 상태이며, 이는 [표 5]에 제시되어 있다. 남은 Case II, III에 해당하는 시편은 동결융해 시험이 끝난 뒤 성능평가를 수행 할 예정이다.

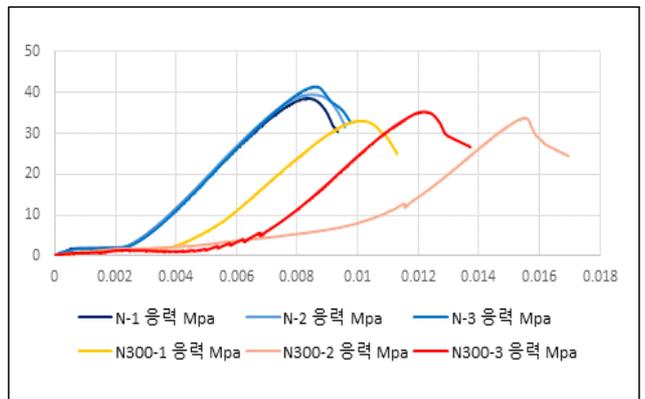
## 4. 시험 결과 분석

콘크리트 압축 성능은 비 보강 콘크리트는 39.77MPa, 동결융해를 마친 콘크리트는 33.97MPa로, 동결융해를 마친 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 평균 14.6%의 감소율을 보이는 것으로 보이며, 보강한 콘크리트들의 압축 성능은 77.34MPa, 74.49MPa로, 동결융해를 거친 콘크리트에 비해 약 3.7%의 감소율을 보인다. 이는 [표 5]에 제시되어 있다.

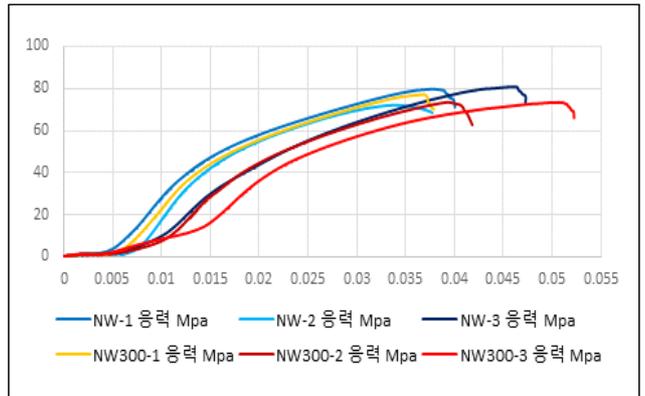
일반콘크리트에 비해 각 래핑보강을 한 콘크리트에 대해서 194%, 219%의 효율을 보여, 각 Case를 비교한 결과 동결융해를 거친 콘크리트에 래핑보강을 하는 것이 일반 콘크리트에 비해 1.13배의 좋은 효율을 보였다.

[표 5] 콘크리트 성능평가 결과

Case	시편명	압축강도	시편명	압축강도
Case I 일반 콘크리트	N-1	38.51MPa	NW-1	79.57MPa
	N-2	39.42MPa	NW-2	71.90MPa
	N-3	41.38MPa	NW-3	80.56MPa
	평균	39.77MPa	평균	77.34MPa
Case IV 동결융해 300Cycle 적용 콘크리트	N300-1	32.98MPa	NW300-1	76.93MPa
	N300-2	33.72MPa	NW300-2	73.32MPa
	N300-3	35.2MPa	NW300-3	73.23MPa
	평균	33.97MPa	평균	74.49MPa



[그림 7] 비 보강 콘크리트 압축강도



[그림 8] FRP 래핑보강 콘크리트 압축강도

콘크리트 압축성능은 비 보강 및 보강 콘크리트는 동결융해를 거친 콘크리트가 강도는 낮아지나, 변위는 높아지는 것으로 보인다. [표 5] 및 [그림 8]에서 보면 래핑보강을 한 경우에는 보강한 콘크리트에 비해 압축 성능의 면에서 압축거동의 차이가 적은 것으로 나타났다.

[그림 7], [그림 8]과 같이 비 보강 콘크리트는 변형률이 일반 콘크리트에 비해 동결융해를 전후 1.4배의 차이를 보이며, FRP보강 콘크리트는 동결융해 전후 1.2배의 차이를 보였다.

## 5. 결론

각 Case를 비교한 결과 동결융해를 거친 콘크리트에 래핑 보강을 하는 것이 일반 콘크리트에 비해 1.13배의 좋은 효율을 보였다. 따라서 동결융해가 진행됨에 따라 래핑보강의 효율은 점차 좋아질 것으로 예측된다.

비 보강 콘크리트는 변형률이 일반 콘크리트에 비해 동결융해를 전후 1.4배의 차이를 보이며, FRP 보강을 한 콘크리트는 동결융해 전후 1.2배의 차이인 점과 보강을 하기 전과 후 압축 성능의 감소율이 14.6%에서 3.7%로 감소한 것으로 보아 래핑보강은 콘크리트의 성능이 낮을수록 점차 효율이 커질 것으로 예측된다.

### 참고문헌

- [1] 정우영, “콘크리트 횡구속용 GFRP 보강재의 온도변화에 따른 인장 재료특성 및 구속성능 평가”, 산학기술학회논문지, 제 14권 7호, pp. 3562 - 3569, 1월, 2013년.
- [2] 현영진, “섬유보강 고강도콘크리트의 역학적 성능 향상 연구”, 박사학위논문, 중부대학교, 2월, 2016년.
- [3] 고훈범, “연속섬유(FRP)시트와 콘크리트의 부착강도 영향 요인 검증”, 한국산학기술학회논문지, 제 21권 9호, pp. 414 - 423, 10월, 2020년
- [4] 유연중, 이경훈, 김희철, 이영학, 홍원기, “탄소섬유시트로 보강된 콘크리트 기둥의 압축성능 평가를 위한 실험연구”, 구조물진단학회지 제 12권 3호, pp. 119 - 126 5월, 2008년
- [5] 권민호, 서현수, 임정희, 김진섭, 정우영, “FRP 내진보강재로 보강된 기둥에 대한 실험적 내진성능평가”, 복합신소재구조학회지, 제 6권 2호, pp. 25 - 30, 6월, 2015년.
- [6] 정우영, 김남정, “상용프로그램용 Subroutine 부착모델을 이용한 동결융해에 의한 FRP-콘크리트 부착-슬립 거동에 대한 해석적 평가”, 한국방재학회논문집, 제 12권 1호 pp. 45 - 51, 2월, 2012년.
- [7] 안미경, 이상문, 정우영, “철근콘크리트 보의 성능개선을 위한 Hybrid FRP 보강재 연구”, 한국콘크리트학회 2010년도 춘계 학술대회, 제 22권 1호, pp. 243 - 244, 5월, 2010년
- [8] 김성훈, 정우영, “동결융해 및 부착재료 변화에 따른 FRP-Concrete 경계면의 최대 부착강도 및 유효부착길이 평가”, 한국콘크리트학회 제 22권 1호, pp. 435 - 436 5월, 2010년
- [9] 박준석, 주형중, 남정훈, 윤순중, “FRP로 휨보강된 FRP-콘크리트 합성압축재의 구조적 거동”, 복합신소재구조학회논문집, 제 1권 3호, pp. 10 - 16, 9월, 2010년.
- [10] 최은수, 최승환, “FRP로 구속된 콘크리트 압축부재의 구속효과 분석”, 대한토목학회지, 제 31권 1호, PP. 19 -24 1월, 2011년.
- [11] 서대원, 한범석, 신성우, “FRP bar를 주근으로 사용한 콘크리트 휨부재의 압축축 콘크리트 구속에 따른 거동”, 구조물진단학회지 12권 3호, pp. 110 - 118, 5월, 2008년