

PPF 섬유가 콘크리트의 물성에 미치는 영향

(The Effects of PPF Fiber on Concrete Properties)

한 만 업
Han, Man Yop

Abstract

The use of polypropylene fibers in concrete has been widely advertised by the fiber manufacturers. However, the behavior of concrete containing plastic fibers has not been fully understood. The effects of fiber on concrete have been focused on shrinkage crack control mainly from field observation, and the mechanism and the side effect of fiber such as workability reduction have been neglected. In this paper, the effect of fiber on workability and shrinkage properties have been studied. The addition of fiber significantly reduce workability and requires additional water to maintain the workability, which causes adversal effects on concrete properties.

1. 서론

최근 외국에서는 폴리프로필렌(Polypropylene Fiber, 이하 PPF) 섬유의 사용이 증가하면서 이를 첨가하여 건조수축과 온도강하에 의한 콘크리트의 내부 응력을 조절할 수 있고 따라서 콘크리트의 균열을 억제할 수 있다는 주장(1,2)이 많이 제기되고 있다. 이 연구는 콘크리트에 PPF섬유를 첨가한 효과와 관련하여 PPF 섬유가 콘크리트의 응력을 조절할 수 있는가 하는 문제와, 또 조절이 가능하다면 어떤 메카니즘으로 섬유소가 이런 기능을 하는가를 현상학적으로 규명하기 위한것이다.

본 연구에서는 우선 섬유의 흡습성과 섬유의 첨가로 인한 콘크리트의 유동성 변화에 관한 실험을 실시하여 섬유의 첨가가 콘크리트의 유동성 및 사용 수량에 미치는 영향에 대하여 연구 하였다. 섬유상의 재료를 첨가하게 되면 강섬유의 경우와 마찬가지로 유동성의 저하가 문제되는데, 이를 극복하기 위하여 유동화제를 사용하거나 배합수를 증가시킨다. 그러나 유동화제를 사용하게 되면 콘크리트 물성의 증진 효과가 유동화제에 의한것인지, 섬유소의 첨가에 의한것인지가 불분명해지며, 사용 수량이 증가하게 되면 물-시멘트비가 증가하여 성질 향상보다는 오히려 부작용이 나타날수도 있다.

아주대학교 토목공학과 조교수, 정희원

또한 콘크리트의 건조수축 특성을 포함한 제반 물성을 측정하는 실험을 PPF섬유 보강 콘크리트와 일반 콘크리트의 시편들을 쌍으로 제작하여 비교 분석하였다. 아울러 건조수축 균열의 억제 여부를 판별하는 실험으로 실제 크기의 슬라브를 제작하여 그들의 거동을 관측하였는데, 비교 분석을 위하여 기존의 방법인 와이어 매쉬 보강 콘크리트 슬라브를 추가하여 실험하였다.

2. 실험 개요

2.1 PPF 섬유의 흡습성 실험

PPF 섬유의 제품을 구매하여 실험전에 무게를 측정하고, 이들을 물속에 24시간 이상 담가 두었다가 꺼내어 여분의 수분을 제거한뒤, 무게를 다시 측정하고, 밀폐된 데시케이터 속에서 무게 변화를 측정하는 방법으로 증발 실험을 실시하였다. 데시케이터는 포화 염 용액을 이용하여 상대습도가 33%, 52%, 95%가 되도록 조정하였으며, 내부 공기압을 낮추어 빠른 시간에 평형에 도달하도록 하였다. 실험에 사용된 섬유는 1/2inch 길이의 fibermech와 forta fiber의 2개 회사 제품으로 실험하였다.

2.2 PPF 콘크리트의 유동성 실험

PPF섬유의 첨가에 따른 유동성의 변화를 측정하기 위한 실험은 섬유를 첨가하지 않은 일

반 콘크리트(F0)와 fibermesh를 1.5lb/cy(F1), 3lb/cy(F3), 5lb/cy(F5) 등의 양을 첨가한 콘크리트를 제작하여 실험을 실시하였다. PPF 섬유유 의 권장 사용량은 1.5 lb/cy 이지만 첨가 효과를 극대화하고 권장 사용량의 근거를 알아보기 위하여 그 이상의 양을 사용한 경우도 실험변수로 선정 한 것이다. 유동성을 측정하기 위한 방법으로는 슬럼프 실험, Vebe 실험, Hobart 믹서의 동력 측정, Bingham모델의 점성 계수(3) 측정등의 실험을 실시하였다.

유동성을 보정하기 위한 방법으로 측정방법 자체의 상관관계를 규명하기 위한 실험이 수행되었다. 슬럼프값을 1inch 에서 5inch로 증가 하도록 사용 수량을 증가 시켜가면서 유동성 측정방법들 끼리의 상관관계를 규명하였다.

실험에 사용된 콘크리트의 배합설계표와 굳기전 콘크리트의 물성 측정 결과가 Table 1 에 요약되어 있다.

Table 1 배합 설계표와 굳기전 콘크리트 물성

	W/C	Cem.	Water	Sand	Agg.	Slump	Air
F0	0.53	470	250	1256	2340	3.5	2.5
F1	0.56	470	262	1195	2340	4.0	2.5
F3	0.60	470	270	1172	2340	4.0	3.3
F5	0.60	470	282	1141	2340	3.5	3.8

* AE제=4oz/100lb, 지연제=15oz/100lb

2.3 PPF 콘크리트의 슬라브 실험

일반 콘크리트(F0)와 2종(F1, F5)의 섬유보강 콘크리트로 각각 2개씩의 슬라브를 제작하여 온도변화와 건조수축에 의한 거동을 측정, 비교하였다. 이 슬라브 실험에서는 또한 와이어메쉬를 이용한 슬라브(W) 2개를 추가로 제작하여 총 8개의 슬라브로 재래적인 균열조절 방법과 PPF섬유에 의한 방법을 비교하였다.

실험용 슬라브는 바닥에 30cm 두께의 자갈층을 다지고, 슬라브의 양쪽 끝에는 앵커를 설치하여 중앙부의 체적변화를 억제하여 응력이 발생하도록 하였다. Fig. 1 에 슬라브의 설계도가 나와 있으며, 표면 변위의 측정을 위하여 설치된 Demec게이지의 배치도 나와있다. 이 게이지의 배치는 중앙부에서 길이 방향의 구속된 건조수축과 횡방향의 자유 건조수축, 그리고 슬라브 정착장치의 외부에 설치된 자유 건

조수축등으로 나누어 측정할수 있도록 설계된 것이다.

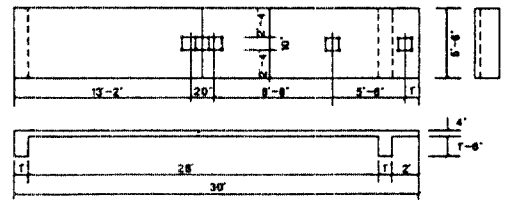


Fig. 1 슬라브 설계와 Demec 게이지의 배치

이 슬라브 실험과 병행하여 별도의 표준 시편을 제작하여 건조수축과 수분손실 특성을 측정하였으며, 28일 후에는 슬라브 마다 2개씩의 10cm직경의 코어를 채취하여 쪼갬인장 강도를 측정하였다. 또한 PPF섬유의 첨가에 의한 콘크리트의 강도보강 효과를 알아보기 위하여 압축강도와 휨강도도 측정하였다. 강도 실험용 시편들은 수중양생을 하였고 시험 재령은 7일과 28일 이었다.

3. 결과 및 분석

3.1 PPF섬유의 흡습성 실험

측정 결과 Fortafiber는 30%에서 130% 정도의 수분을 흡착하였고, Fibermesh는 280%에서 450% 정도의 수분을 흡착하였다. 이는 PPF섬유의 권장 사용량을 콘크리트에 사용한다고 가정하면 약 4내지 7lb/cy의 수분을 흡착할 수 있음을 의미한다. 또한 증발은 노출 조건에 따라 24시간에서 400시간까지 지속되었다.

PPF섬유는 대부분의 석유화학 제품이 그렇듯이 비흡습성 물체이다. 그러나 가늘고 긴 형상과 상대적으로 작은 크기로 인하여 높은 비표면적을 갖게 됨으로써 PPF섬유의 표면에 상당한 양의 수분을 흡착할수 있음을 증명한 것이다.

측정결과를 증발속도로 계산하여 표시한것이 Fig. 2 이다. 노출조건에 따라 증발속도가 영향을 많이 받음을 알수 있다. 또한 섬유소의 상표에 따른 차이가 심한것으로 나타났는데 이는 이들 섬유소의 미세형상이 다르기 때문인 것으로 믿어진다. 이 섬유소들은 95%의 상대 습도 하에서도 증발이 일어나고 있으며, 이는 섬유소가 수분을 흡착하기는 해도 그 흡착력의 크기는 별로 크지 않음을 의미한다.

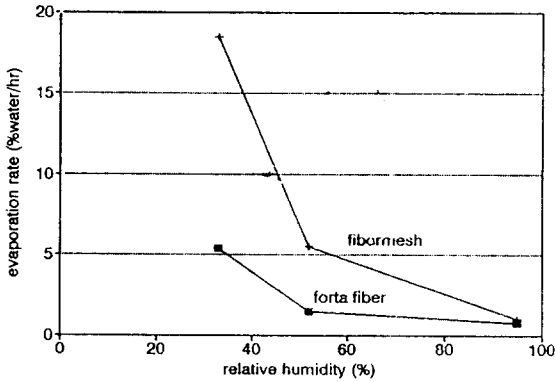


Fig. 2 노출조건에 따른 PPF 섬유증발속도

3.2 PPF 콘크리트의 유동성 실험

PPF섬유의 사용량의 증가에 따른 유동성의 측정결과를 일반 콘크리트를 기준으로한 상대적인 값으로 계산되어 Fig. 3에 나와있다. 슬럼프 값은 일반 콘크리트를 기준으로 했을때 권장 사용량의 PPF섬유를 첨가한 콘크리트의 경우에도 그 값이 절반 이하로 감소되었으며, 5.0lb를 첨가한 경우는 아예 슬럼프가 발생하지 않았다. Vebe 측정 결과나 믹서의 동력 측정, Bingham 모델에 근거하여 계산된 점성계수도 섬유소의 첨가량이 증가함에 따라 측정값이 증가함으로써 유동성이 감소함을 보여주며, 측정방법의 차이에 따른 유동성의 측정결과의 차이는 별로 크지 않다는 것을 알 수 있다. 여기서 Vebe 측정값은 대수변환을 한 값을 비교한 것이다.

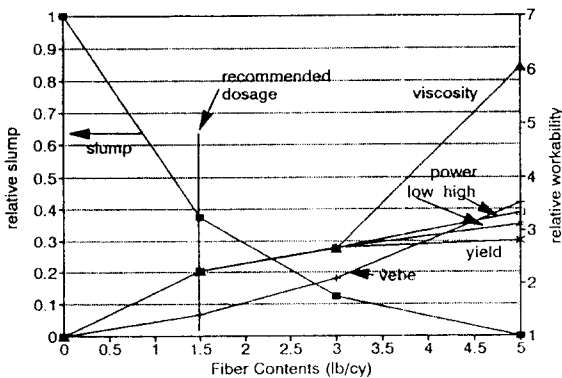


Fig. 3 PPF섬유의 혼입양에 따른 상대적인 유동성의 변화

또한 일반 콘크리트에서 슬럼프를 증가시키면서 기타 측정 방법들과 비교한 결과가

Fig. 4 에 요약되어 있다. 모든 측정 결과들이 슬럼프 값과는 일반적으로 비선형적 반비례 관계를 갖고 있음을 알 수 있다. 이들 관계가 비선형적인 것은 각 측정 방법들의 최적의 측정 범위들이 다르기 때문인 것으로 생각된다.

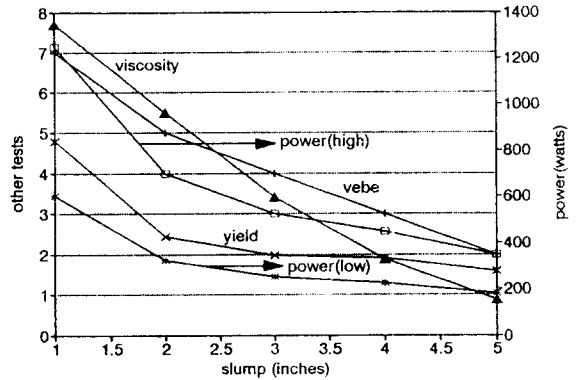


Fig. 4 측정방법에 따른 유동성의 상관관계

이 결과에 근거하여 각각의 방법으로 측정된 1.5lb/cy 의 PPF 섬유 보강 콘크리트의 유동성을 슬럼프 값으로 환산하면 1.0에서 2.5 정도의 값을 가지며, 평균값은 1.5inch가 된다. ACI Manual(4) 에 따르면 이런 콘크리트를 4.0inch의 슬럼프를 갖는 콘크리트로 만들기 위해서는 약 25lb/cy의 물이 추가되어야 한다고 제시되어 있다. 그러나 실제 배합에서는 그 절반인 12lb/cy의 물을 추가로 사용하여 같은 슬럼프 값을 얻을 수 있었다.

3.3 PPF 콘크리트의 슬라브 실험

4개 (F0, W, F1, F5)의 슬라브로부터 측정된 결과가 Fig. 5, 6, 7, & 8에 순서대로 나와있다. 실험기간 동안 외부에 노출되었기 때문에 후기에는 측정값에 많은 굴곡이 있으나 초기에는 기상변화와 무관하게 일관되게 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 단부의 길이 방향 수축이 가장 크고 중앙의 길이 방향이 가장 작을 경향을 볼 수 있다. 이 측정값의 차이가 콘크리트에 인장응력을 발생시키는 것으로 추정된다.

Fig. 9 와 Fig. 10에서 길이방향 건조수축과 횡방향 건조수축에 대한 PPF섬유의 첨가 효과를 분석하였다. 와이어매쉬가 보강된 슬라브가 가장 작은 건조수축을 보이며, 섬유의 첨가량이 증가할수록 건조수축이 커짐을 알 수 있다.

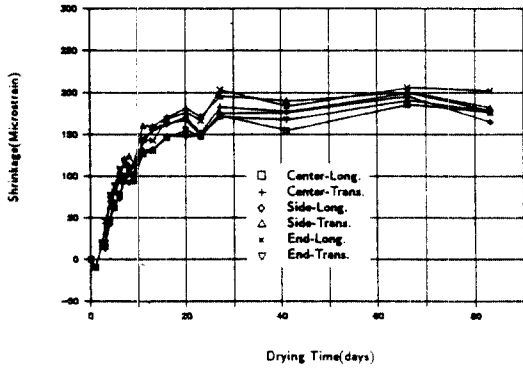


Fig. 5 일반 콘크리트 슬라브의 건조수축

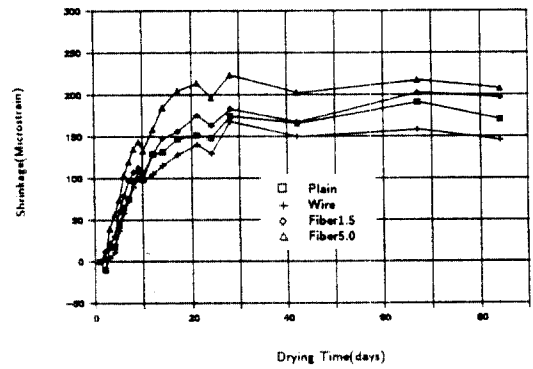


Fig. 9 슬라브의 길이방향 변형량

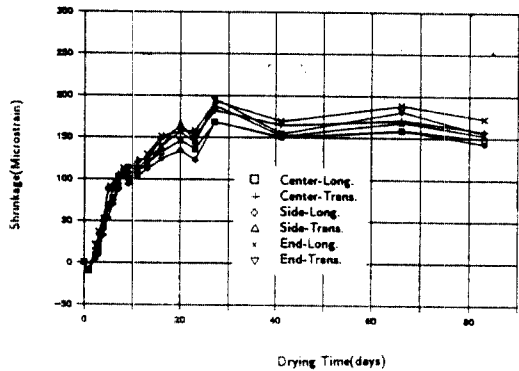


Fig. 6 와이어메쉬 보강 슬라브의 건조수축

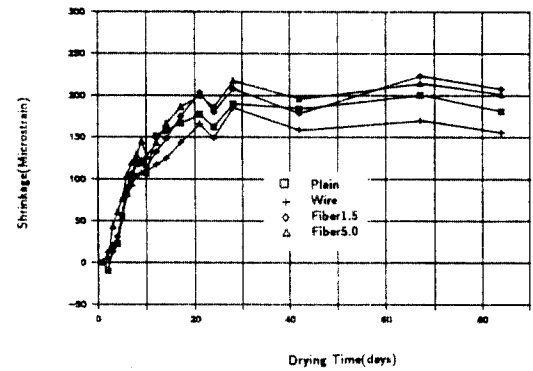


Fig. 10 슬라브의 횡방향 변형량

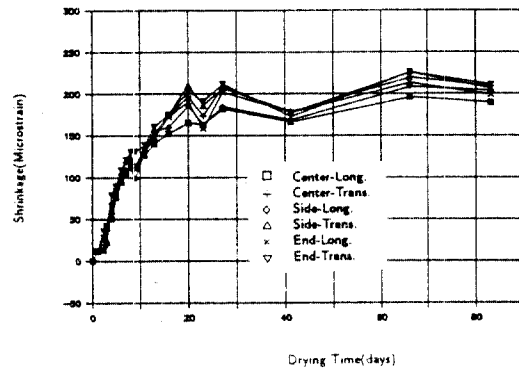


Fig. 7 1.5lb PPF섬유보강 슬라브의 건조수축

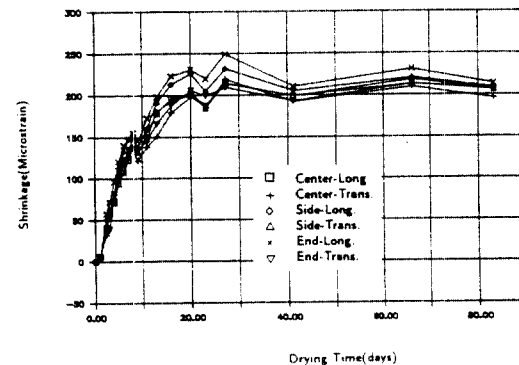


Fig. 8 5.0lb PPF섬유보강 슬라브의 건조수축

슬라브 실험의 결과를 검증하기 위하여 표준 크기의 건조수축 시편을 제작하여 수분 손실에 의한 무게감소를 측정하였다. Fig. 11는 시험 기간 동안의 무게 변화를 보여주는데 F0나 F1은 별 차이가 없으며, F5의 경우는 감량이 상당히 크게 나타났다. Fig. 12는 같은 시편의 길이 변화를 보여주는데 이것 역시 F5가 가장 큰 길이 변화를 보이고 있으며, F0와 F1은 큰 차이가 없다. 콘크리트의 공극 크기분포의 세립정도를 간접적으로 파악하기 위하여 건조수축과 무게 변화의 상관관계를 나타낸것이 Fig. 13이다. F5의 경우가 다른 경우에 비하여 공극 크기가 큰것으로 나타났다. 따라서 PPF섬유소를 콘크리트에 권장사용량만큼 첨가하는 것은 건조수축 특성이나 공극율에 그리 큰 변화를 주지는 않지만, 사용량이 과다해지면 건조수축이 커지고, 공극율이 커지는등의 부작용이 나타날수 있다.

슬라브에서 채취한 코아의 조깅인장 강도와 표준 시편의 압축강도, 휨강도등의 측정결과가 Fig. 14 와 15, 16에 나타나 있다.

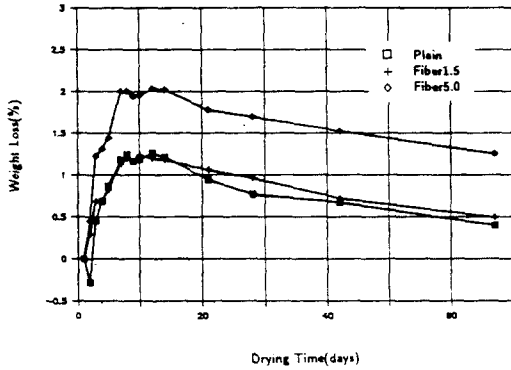


Fig. 11 표준 시편의 무게 변화

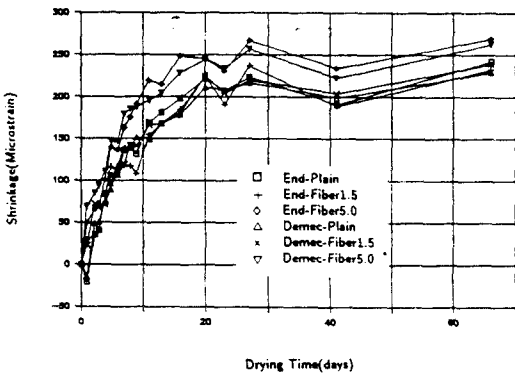


Fig. 12 표준 시편의 길이 변화

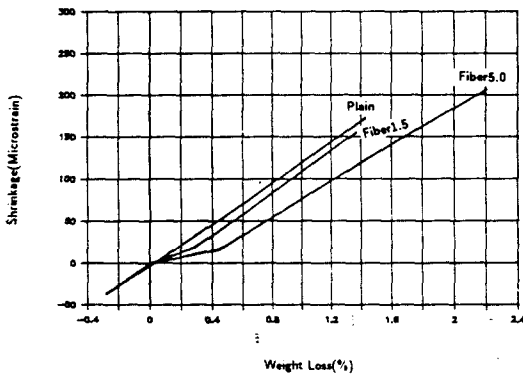


Fig. 13 무게 변화와 길이 변화의 상관관계

Fig. 14에는 조깅인장 강도의 측정결과가 나와있는데, 통계학적으로 분석된 90%의 신뢰도를 갖는 측정값의 범위를 표시한 것으로 섬유 첨가 콘크리트와 일반 콘크리트가 서로 다르지 않다는 판단이다. Fig. 15에는 압축강도의 실험 결과가 나와있는데, 7일 강도에서는 F1의 측정값이 F0 보다 12% 더 크며, F5의 경우는 15% 더 작게 관측되었으며, 또한 28일 강도의 경우는 F1이 F0 보다 8% 더 작은 것으로, F5는 오히려 차이가 없는 것으로 분석됐다. 또

한 Fig. 16에는 들보의 휨인장 강도가 나와있는데, 7일 강도의 경우 F1과 F5의 강도는 F0에 비하여 각각 13%와 16%씩 줄어들었으며, 28일 강도의 경우는 모든 경우에 거의 차이가 없는 것으로 판명됐다. 이런 강도 실험 결과를 종합해보면 어떤 일관된 경향을 찾을수는 없다. 다시 말하면 섬유소의 첨가에 의한 강도의 변화는 거의 없다고 할수 있다. 다만 섬유소의 사용량이 증가하게 되면 약간의 강도 감소가 일어날수도 있다.

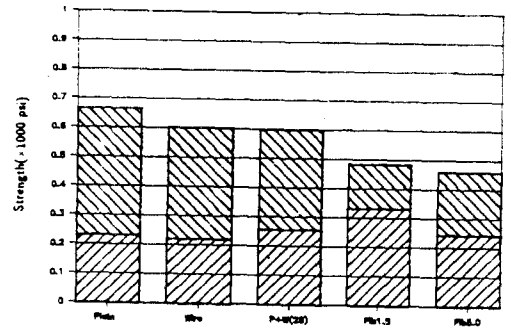


Fig. 14 Fisher's LSD 검증법에 의한 90%의 신뢰도를 갖는 조깅인장 강도의 범위

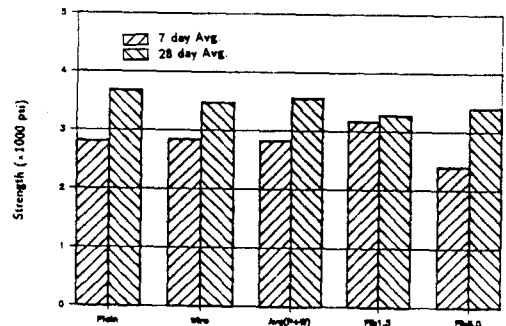


Fig. 15 7일과 28일의 실린더 압축강도

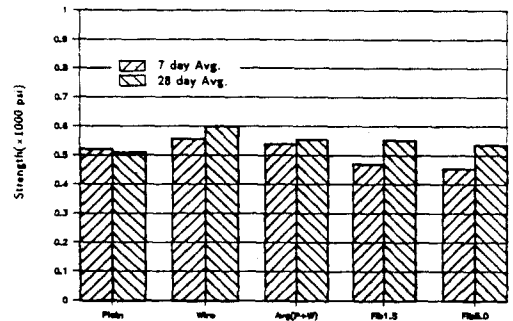


Fig. 16 7일과 28일의 휨강도

6. 결론

1. Fortafiber와 Fibermesh는 평균 자체 무게의 80%와 365%에 상당한 수분을 흡착하며, 상대습도 95%의 환경에서도 주변으로 수분을 방출하며 그 증발속도는 상대습도에 영향을 받는다.
2. fibermesh의 권장 사용량을 사용했을때 유동성은 측정방법에 따라 62%에서 122%까지 줄어든다.
3. PPF섬유소의 권장 사용량을 사용했을때 유동성의 감소를 보정하기 위하여 추가로 필요한 수량은 121b/cy 이다.
4. 슬라브의 건조수축은 측정방향과 구속 상태에 영향을 받으며, 와이어매쉬의 수축이 가장 작고 PPF섬유의 첨가량이 증가할수록 증가한다.
5. PPF섬유의 사용량이 증가하면 공극 크기 분포가 커지는데 이는 사용 수량의 증가에 기인한것으로 믿어진다.
6. PPF섬유의 권장 사용량 이내의 첨가에 따른 강도상의 변화는 그리 크지 않으나, 과다 사용이 될때는 강도상의 상당한 저하가 관측된다.

7. 참고 문헌

1. Zellers, R.C. and Biddle, D.T., "Forta Corporation's Response to the Wire Reinforcement Institute's Position on CFP Fibers," Research Report, Forta Fiber Co., Grove City, PA, 1986
2. Beresford, F.D., "Polypropylene Fiber Reinforcement in Concrete Slab-on-Ground," presented at the CSIRO Division of Building Research, Australia, Asia-Pacific Concrete Technology Conference, Indonesia, 1986
3. Tattersall, G.H., "Rationale of a two point workability test," Magazine of Concrete Research, Vol.25, No.84, 1973
4. ACI Manual of Concrete Practice 211.1
5. Lytton, R.L., Olsen, M., Han, M.Y. and Advani, A., "The Effects of Polypropylene Fibers in Concrete," Research Report, Texas A&M University, Texas, 1988