

# 유리섬유를 이용한 손상된 프리스트레스트 콘크리트보의 보강공법 개발연구

## A study on development of methods to rehabilitate the damaged prestressed concrete beam using glass fiber

한 만 업\*      이 택 성\*\*      강 원 호\*\*\*  
Han, Man-Yop   Lee, Taek-sung   Kang, Won-Ho

---

### ABSTRACT

Many composite girder bridges have been constructed for about thirty five years. Nowadays they are aged or deteriorated because of the increase in traffic and vehicle loads. In this study, the effect of strengthening with glass fiber sheet is investigated to estimate the possibility for applying for damaged prestressed concrete bridges. One normal and eight cracked specimens which had been preloaded were tested. The cracked specimens were strengthened with either external prestressing or bonding glass fiber sheet, or using both methods. The results showed that the maximum loads are almost same for both methods. So it seems that the strengthening with glass fiber sheet can be used for strengthening damaged prestressed concrete girders. It is important that proper devices should be selected to prevent glass fiber sheet from premature bonding failure below its maximum load, which is similar to end anchorage problem in external prestressing method. It is proved that the devices proposed in this paper have sufficient anchoring capability to increase load carrying capacity.

---

### 1. 서론

철근콘크리트 교량에 대한 보수보강공법에 관한 연구와 실구조물에의 적용은 여러 가지 방법으로 접근과 시도가 이루어져왔으나, 프리스트레스트 콘크리트 교량에 있어서는 외부 프리스트레싱에 의한 보강방법이 일반적이었다. 그러나 외부강선 보강공법에는 단부정착장치의 제작상의 어려움과 외관상, 시공상의 문제 등이 제기 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 근래에 보강재로서 새로이 부각되고 있는 유리섬유를 이용하여 프리스트레스트 콘크리트교량을 부착식으로 보강하는 방법을 검증하고자 하였다.

---

\*정회원, 아주대학교 토목공학과 교수

\*\*아주대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\*정회원, 동아대학교 토목공학과 교수

## 2. 실험

### 2.1 시험체 제작

실험 부재는 순지간 6m의 단순보로서 건설부 제정 프리스트레스트 콘크리트 빔교 지간 30m의 표준 단면을 근거로 하여 대체로 형상비가 비슷하도록 설계하였으며, 실험부재의 지간 중앙부의 설계 단면은 그림 1과 같다. 시험체의 제작에 사용된 재료의 물성을 표 1에 제시하였다.

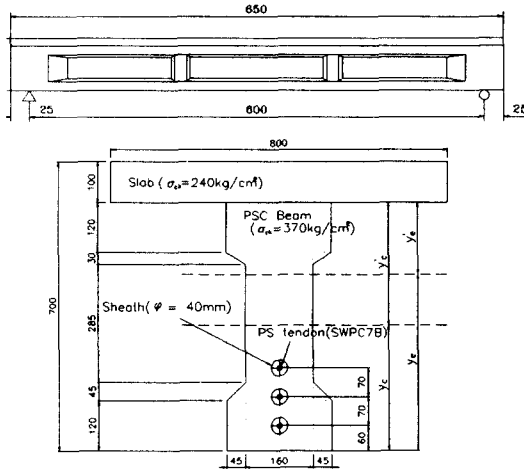


그림 1 시험체의 제원

표 1 재료의 설계강도 및 측정강도

부재	구분	용력 (kg/cm <sup>2</sup> )		비고
		설계강도	측정강도	
PSC보	압축강도	설계강도	370	
		긴장시	354	재령 14일
		시험시	393	재령 28일
슬래브	압축강도	설계강도	240	
		측정강도	262	
PS강선 (SWPC7B)	극한강도 ( $\sigma_{pu}$ )	18,900		
	항복강도 ( $\sigma_{py}$ )	16,100		
	허용인장용력 ( $\sigma_{pa}$ )	단기	13,230	$0.7\sigma_{pu}$
		장기	12,880	$0.8\sigma_{py}$
외부강선 (SWPD3)	극한강도 ( $\sigma_{pu}$ )	19,700		
	항복강도 ( $\sigma_{py}$ )	17,400		
	허용인장용력 ( $\sigma_{pa}$ )	단기	13,800	$0.7\sigma_{pu}$
		장기	13,900	$0.8\sigma_{py}$
철근	항복강도	4,200		

### 2.2 실험 계획

총 9개의 시험체에 대해, 선행하중에 의해 균열을 발생시킨 후 균열이 발생한 부재에서 하중을 제거하여 사하중 상태에서 보강을 실시하였으며, 외부강선으로 보강한 CWES와 유리섬유로 보강한 CWGS 계열의 부재들, 그리고 유리섬유와 외부강선으로 동시 보강한 CWEGS 계열로 분류한다. 외부강선은 부재 단부에 정착단을 설치하고 지간의 각 1/3점에 방향전환부를 두어 강선의 방향을 변화시켜서 배치하였다. 총 6개의  $\phi 2.9\text{mm}$  3연선을 배치하였으며 각 강선은 2ton으로 긴장하였다.

유리섬유 보강은 PSC부재의 하부 플랜지 바닥면에 유리섬유를 접착하는 것으로, 폭 23cm, 길이 540cm로 1점 보강하는 것을 기준으로, 시험체별로 유리섬유의 보강폭과 부착층수를 달리하여 보강한다. CWGSR 시험체는 CWGS와 같은 보강량을 갖으며, 외부강선으로 긴장한 상태에서 유리섬유를 보강한 후 외부 강선을 제거한 형태이다. 유리섬유 보강의 시험체들은 보강재의 안정한 정착을 위해 보강량 외에 유리섬유를 부착한다. CWGSA는 지점부근의 하면에 정착판을 두고 앵커작업을 하여 정착하였으며, CWGSB는 유리섬유로 부재를 둘러싼 다음 섬유앵커를 사용하여 정착하였다. 표 2에서 각 부재의 보강 방법을 정리하였다.

### 2.3 재하 및 측정방법

실험 부재는 그림 2에서 보이는 바와 같이 단순보로 지간의 각 1/3점에 4점 재하하고, 하중은 설계 항복 하중  $M_y$ 에 이르기까지 단조 증가하였으며, 이후는 변위 증가로 극한 상태의 연성의 증가를 관찰하였다. 그림 2는 하중재하위치 및 게이지의 부착 위치를 나타내었다.

표 2 보강방법에 따른 실험계획

보강종류	부재명	유리섬유보강		외부강선보강	
		폭	접수	강선수	강선위치
표준	PWOS	-	-	-	-
외부강선보강	CWES	-	-	6	상중하3단
유리섬유보강	CWGS	23cm	1	-	-
	CWGS2	12cm	2	-	-
	CWGSR	23cm	1	-	-
	CWGSA	50cm	2	-	-
	CWGSB	50cm	2	-	-
병행보강	CWEGS	13cm	1	6	상중하3단
	CWEGS2	7cm	2	2	하단

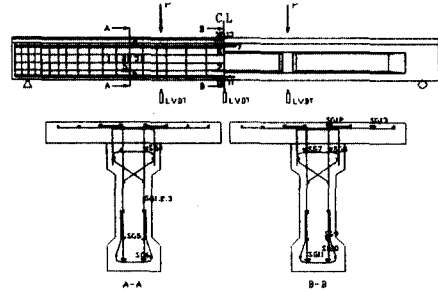


그림 2 재하 및 측정 위치

### 3. 실험결과

#### 3.1 하중-처짐

그림 3은 중앙점에서의 하중-처짐 곡선을 나타낸 것으로, CWEGS가 약 73ton까지 하중이 증가하여 가장 큰 내하력을 갖는 것으로 나타났으며, 파괴시의 처짐도 100mm로 가장 크게 나타나 안전성 확보 측면에서도 문제가 없는 것으로 나타났다. 그 다음으로 최대하중이 큰 시험체는 CWES로서 파괴시 처짐이 100mm일 때 최대하중이 72ton으로 나타났다. CWGSA와 CWGSB 시험체에서는 단부에서의 정착을 확실히 확보한 결과 외부강선 보강과 유사한 정도의 우수한 보강효과를 보였다.

이러한 결과는 손상된 구조물에 필요한 적절한 보강설계를 하게되면 안전성이 확보된 적절한 보강 효과를 기대할 수 있으나, 보강재가 제 기능을 다 할 수 있도록 보강재의 단부정착을 확실히 해야함을 의미한다.

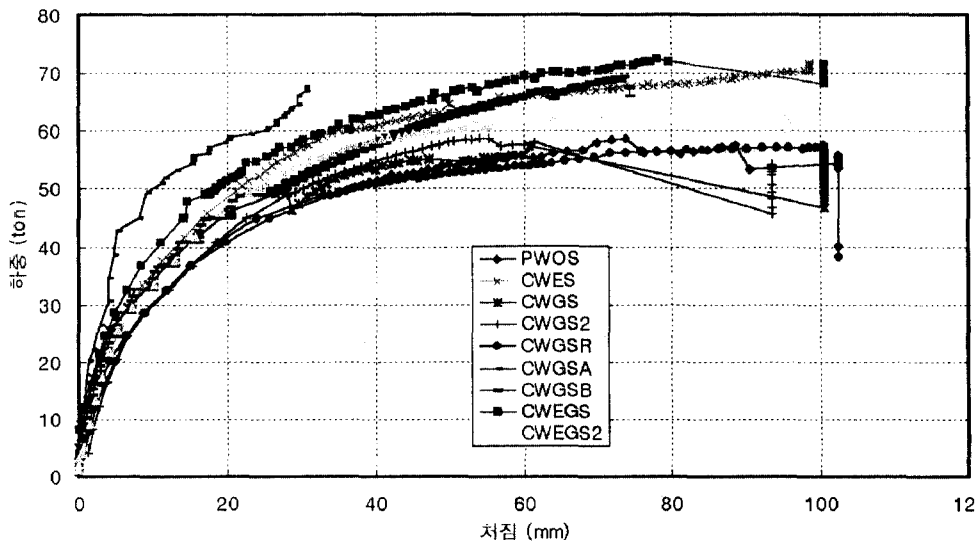


그림 3 하중-처짐 곡선

### 3.2 최대 휨모멘트

각 시험체의 계산된 공칭모멘트와 실험에서 측정된 최대 휨모멘트를 표 3에서 비교하였으며 무보강 보에 대한 각 보강방법에 따른 보강보의 증가율과 공칭모멘트 이후 최대 휨모멘트까지의 증가율을 제시하였다.

계산된 공칭모멘트의 경우 무보강 보에 대해 28%에서 114%까지 증가하는 것으로 나타났으며, 실제 측정된 최대 휨모멘트는 최소 0%에서 최대 26%까지 증가한 것으로 측정되었다.

단부의 부착을 강화시킨 CWGSA와 CWGSB의 경우는 외부강선 보강 시험체인 CWES와 CWEGS2와 거의 비슷한 정도의 최대 휨모멘트가 관측되어 부착식 보강 공법도 외부강선 보강공법과 유사한 정도의 보강 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 시험된 단부 부착 방법은 보강재의 보강효과를 발휘하는데 충분한 정도의 단부정착 강도를 갖고 있는 것으로 평가할 수 있다.

공칭모멘트 이후 최대 휨모멘트까지의 증가량을 비교하기 위하여 두 모멘트의 비를 비교하면, 유리섬유 보강의 경우보다는 외부강선 보강의 경우가 더 큰 것으로 나타나 안전성 확보에서 유리한 것으로 나타났으며 두 가지 보강 방법을 병행한 경우는 이들 사이의 중간 값으로 나타났다.

표 3 실험 부재의 최대 휨모멘트

부재 번호	공칭모멘트		최대휨모멘트		$M_{max}/M_n$ (%)
	( $M_n$ )	증가율 (%)	( $M_{max}$ )	증가 율(%)	
PWOS	30	100	58	100	190
CWES	44	144	72	124	164
CWGS	39	128	58	100	149
CWGS2	39	129	59	102	150
CWGSR	39	128	58	100	149
CWGSA	65	214	69	119	106
CWGSB	65	214	69	119	106
CWEGS	49	156	73	126	150
CWEGS2	41	133	64	110	158

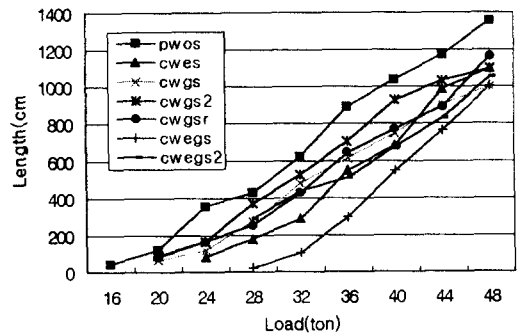


그림 4 하중-균열총길이

### 3.3 하중-균열

하중과 균열과의 관계에서의 각 시험체의 비교를 이루기 위해 Table 5에 균열의 개수와 부재에 나타난 균열의 수직높이의 합을 정리하였다. 균열의 개수에서도 무보강부재에 비해서 유리섬유 보강이나 외부강선 보강이 이루어진 부재에서 숫자가 줄어든 것으로 나타났으며, 한결의 유리섬유를 넓게 부착하는 것이 적은 보강단면적으로 두겹을 부착하는 것보다 균열조절 측면에서도 우수한 효과를 보임을 알 수 있다. 충분한 유리섬유 보강으로 하부플랜지를 감싸는 형태의 보강이 이루어진 CWGSA와 CWGSB의 시험체에서는 보강재가 덮여 있는 관계로 균열의 측정이 이루어지지 않았다.

그림 4에서 각 시험체의 균열양상의 비교를 위하여 시험체별 하중과 균열의 총길이의 관계를 도시하였으며, 이 관계그래프에서 무보강보에 대해 각 보강부재의 보강효과가 나타남을 확인할 수 있다. 그림 5에서 최종 파괴후 시험체의 균열도를 나타내었으며, 보강종류별 대표되는 시험체를 선별하여 CWES, CWGS, CWEGS를 도시하였다.

표 4 하중별 균열갯수와 총길이

시험체		하중 (ton)								
		16	20	24	28	32	36	40	44	48
PWOS	균열갯수	4	8	12	14	22	27	29	31	34
	총길이	42	122	355	433	621	889	1040	1172	1354
CWES	균열갯수	-	-	3	6	11	19	21	28	29
	총길이	-	-	82	179	286	545	684	983	1097
CWGS	균열갯수	-	2	4	9	15	18	20	23	24
	총길이	-	70	120	272	479	618	749	903	999
CWGS2	균열갯수	-	5	8	16	20	26	32	32	34
	총길이	-	92	162	370	524	704	925	1030	1095
CWGSR	균열갯수	-	6	11	14	19	21	24	25	31
	총길이	-	84	165	255	428	644	767	888	1166
CWECS	균열갯수	-	-	-	2	7	14	21	24	29
	총길이	-	-	-	25	103	296	545	761	1000
CWECS2	균열갯수	-	-	-	10	15	16	19	23	27
	총길이	-	-	-	292	437	514	673	826	1050

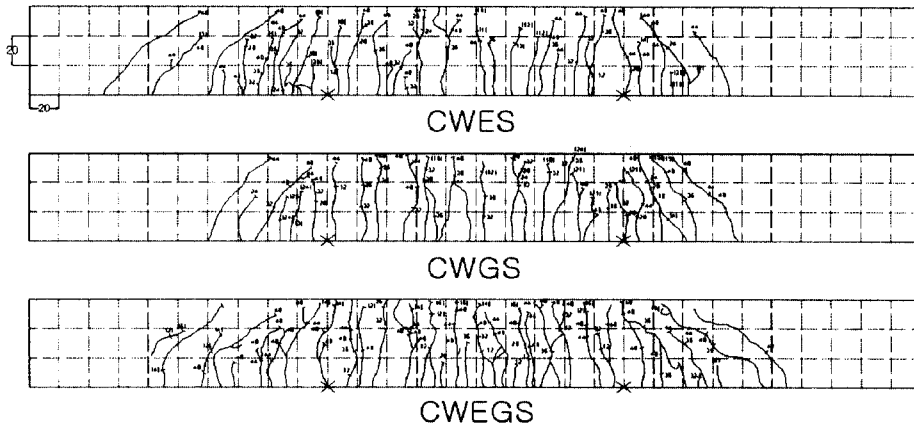


그림 5 시험체의 균열형상

4. 결론

본 연구는 손상된 프리스트레스트 콘크리트 교량에 대한 유리섬유의 보강 효과를 검증하기 위하여 무보강 시험체와 선행 하중의 재하로 균열이 발생한 8개의 보강시험체등 총 9개의 시험체에 대하여 유리섬유 보강, 외부강선 보강 및 두가지 보강 방법을 병행한 보강을 실시하여 각 보강 방법의 효과를 비교하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1) 파괴에 이르기까지의 최대 하중을 비교한 결과, 외부강선 보강이 이루어진 시험체와 유리섬유 부착에서 정착단의 앵커 작업으로 충분한 부착력을 확보한 시험체에서 가장 우수한 보강효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 실 구조물에 이러한 보강공법을 적용할 경우, 본 실험에서 가장 큰 내

하력의 증가를 보인 외부강선 보강공법은 정착구에서 긴장력을 받아 줄 수 있는 강도의 범위가 한정되어 있는 단점이 있으므로, 두가지 보강방법의 장점을 살리고, 단점을 상쇄시키기 위해서는 이들을 병용하는 보강방법도 유력한 방법으로 판단된다.

2) 유리섬유 보강부재의 경우에는 최대 하중 도달 이전에 정착 파괴가 발생하여 단부정착장치의 보강이 매우 중요함을 알 수 있었다. 정착단에서의 충분한 부착력을 갖춘 부재에서는 보다 큰 하중까지 내하력이 증가하므로 실 구조물에 적용시에는 보강재의 단부부착을 적절히 보강해야 한다. 그러나 실 구조물에서는 시험체에서와는 달리 부착길이로 작용하는 지간의 길이가 충분하므로 이 단부정착 문제는 생각보다는 작아질 것으로 판단된다.

3) 유리섬유 보강부재를 프리스트레스트 콘크리트 부재의 보강을 위해 사용하기 위해서는 정착부 보강 방법을 개선하는 것이 필요하므로, 노후화로 인한 모재의 손상이 심각한 실 구조물 적용시 구조물의 하단에서 표층 콘크리트의 품질 개선에 대한 방안이 검토되어야 하며, 본 실험에서와 같이 섬유 앵커나 볼트 앵커 작업, 또는 부재하단을 둘러싸는 형태의 재킷앵커를 부착하여 단부에서의 부착력을 강화하여야 한다.

## 참 고 문 헌

1. 한만엽, 강원호, 정영수, 정진환, "유리섬유를 이용한 손상된 프리스트레스트 콘크리트보의 보강공법 개발연구", 아주대학교 토목기술연구센터, 1998.
2. 한만엽, 박선규, 황의승, "당장고가교의 보강방안 및 보강 후 내하력평가 연구", 아주대학교 토목기술연구센터, 1998.
3. 한만엽, 송병표, "보강재의 변형 부착에 따른 보의 구조적 거동", 콘크리트학회지, 1998.6, pp.197~208
4. Philip A.Ritchie, David A.thomas, Le-Wu Lu, Guy M.Connelly, "External Reinforcement of Concrete Beam using Fiber Reinforced Plastics", ACI Structural Journal, July-August, 1991, pp.490~500
5. Saadatmanesh H., Ehsani M. "RC beams strengthened with GFRP plates" Part I and Part II Journal of Structural Engineering, ASCE, vol.117, no.11, Nov. 1994, pp.3434~3455
6. Arduini M., Di Tommaso A., Manfroni O., "Fracture Mechanisms of Concrete Beam bonded with composite plates", 2.Int. Symposium on: Non-Metallic Reinforcement for Concrete Structures FRPRCS-2, Ghent, 1995, pp.483~491
7. Chajes M.J., Thomson T.A., Januszka T.F., Finch W., "Flexural strengthening of concrete beams using externally bonded composite materials", Construction and Building Materials, 1994, Vol. 8, No.3 pp.1212~1225