

강판 및 탄소섬유쉬트를 이용한 중공슬래브교의 보강 효과에 관한 실험 연구

A Experimental Study on the Reinforcing Effects of RC Voided Slab Bridge with Steel Plate/CFS

구 현 본* 이 정 우* 정 광 회* 정 연 주** 김 병 석***
Koo, Hyun Bon Lee, Jung Woo Jeong, Kwang Hoe Jeong, Youn Ju Kim, Byung Suk

ABSTRACT

The voided slab have many advantages, light weight, high load-distribution capacity, low cost and beautiful appearance, etc. But, they have also many cracks due to difficulties in designs and construction, analysis, shrinkage, installation and rising force of voided tube. This paper presents the retrofit effects with steel plate(SP)/carbon fiber sheet(CFS) of RC voided slab. As a results of this study, it proved that the strip pattern has to be profitable than full-face pattern in performance such as crack, ultimate loads, stiffness. Retrofit length has many influence on retrofit effects, as the length increases, performance and stability of end blocks higher. Also, it proved that the retrofit on full-section has to be profitable than voided-section in performance, and the overlay length of CFS is desirable to extent approximately and welding(V-cut) has to be efficient than anchors in SP connection. But the kinds of end block and anchor has not influence on retrofit effects.

1. 서 론

중공 슬래브교는 슬래브교의 한 종류로 단면에 원형 중공을 설치하여 슬래브교의 단점인 자중을 줄이고 집중된 차량 하중을 분산시키는데 효과적인 구조형식이다. 또한 건설비가 비교적 저렴하고 일반 슬래브교에 비해 미관이 수려한 장점을 갖고 있다. 이러한 장점으로 인하여 10~25m 경간 길이의 중지간 교량에서 경쟁력이 있는 교량형식이지만 해석 방법, 중공관 배치 등의 설계상 문제점과 중공관 부상, 건조수축 등 시공상의 어려움으로 인하여 많은 균열이 발생하여 구조물의 안전성과 내구성을 저하시키는 단점을 갖고 있다. 따라서 기 시공된 중공슬래브교의 안전성을 확보하기 위해서는 효과적인 보강방법에 대한 연구가 필요하다. 현황조사 결과, 중공슬래브교의 대표적인 손상 형태는 슬래브 하면의 횡방향 휨 균열이었으며, 슬래브교의 특성상 비교적 그 적용이 용이한 보강재(강판, 탄소섬유쉬트(이하 CFS)) 부착 공법이 일반적으로 사용되어있으며, 예외적으로 세로보 증설공법 등이 적용되기도 하였다.

따라서, 본 연구에서는 강판 및 CFS를 이용하여 휨 보강한 중공슬래브 시험체에 대한 실험적 연구를 통해 보강방법, 보강길이, 보강위치(이상 공통), 이음방법 및 앵커종류(이상 강판 보강), 접이음 길이, 단부 정착방법(이상 CFS 보강) 등의 요인이 보강효과에 미치는 영향을 규명하고자 한다.



Fig. 1 중공슬래브교 하부의 휨균열

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템그룹 연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템그룹 선임연구원
*** 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템그룹 수석연구원

2. 실험 일반

2.1 시험체 제작

본 연구에서는 중공슬래브교의 강판 및 CFS를 이용한 보강효과를 검증하기 위해 지간길이 $L=370\text{cm}$, 높이 $h=40\text{cm}$, 폭 $b=200\text{cm}$ 의 단면을 갖는 시험체 20개를 제작하였다. 일반적으로 중공슬래브의 구조적 거동은 단면의 중공관비에 큰 영향을 받음에 따라, 본 연구에서는 시험체가 현재 공용중인 구조물과 유사한 거동을 할 수 있도록 직경 250 mm(중공관비 62.5%)의 스파이럴(spiral) 강관을 중공관으로 사용하였다. 또한 휨 보강 시험체가 전단에 대해 안전할 수 있도록 이격거리를 200 mm로 하였다. 본 실험에 사용된 시험체의 제원과 각 실험변수에 따른 시험체의 상세는 Fig. 2와 Table 1에 나타난 바와 같다.

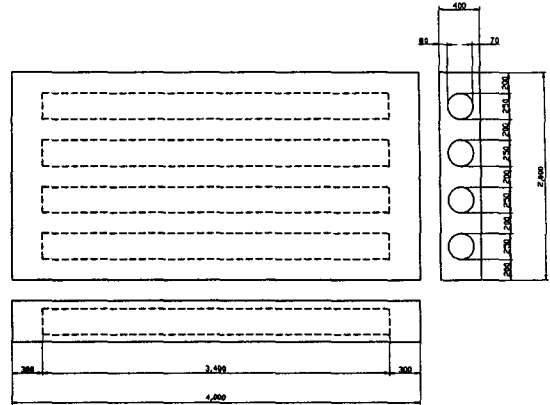


Fig. 2 중공슬래브 시험체의 단면 제원

Table 1 중공슬래브 시험체의 강판 및 CFS 보강 상세

구분	보강 방법	보강 량				보강 길이	단부 정착방법	보강 위치	접이음길이(mm) /이음방법
		층수/두께 (ply/mm)	폭 (mm)	간격 (mm)	단면적 (cm^2)				
Control	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VS-CFS-1	종방향	2	200	250	3.34	0.9 L	-	충실단면	-
VS-CFS-2	격자형	2	200	250	3.34	0.9 L	-	충실단면	-
VS-CFS-3	하부전면	1	2000	-	3.34	0.9 L	-	하부전면	-
VS-CFS-4	하부전면 (U형)	1	2000	-	3.34	0.9 L	-	하부전면	-
VS-CFS-5	종방향	2	200	250	3.34	0.5 L	-	충실단면	-
VS-CFS-6	종방향	2	200	250	3.34	0.7 L	-	충실단면	-
VS-CFS-7	종방향	2	200	250	3.34	0.7 L	CFS	충실단면	-
VS-CFS-8	종방향	2	200	250	3.34	0.7 L	일반앵커	충실단면	-
VS-CFS-9	종방향	2	200	250	3.34	0.7 L	케미컬앵커	충실단면	-
VS-CFS-10	종방향	2	250	200	3.34	0.9 L	-	중공단면	-
VS-CFS-11	하부전면	1	2000	-	3.34	0.9 L	-	하부전면	50
VS-CFS-12	하부전면	1	2000	-	3.34	0.9 L	-	하부전면	150
VS-SP-1	종방향	6.0	180	270	60.0	0.8 L	앵커	충실단면	-
VS-SP-2	하부전면	6.0	1800	-	60.0	0.8 L	앵커	전면	앵커
VS-SP-3	하부전면	3.0	1800	-	60.0	0.8 L	앵커	전면	V컷용접
VS-SP-4	종방향	6.0	180	270	60.0	0.5 L	앵커	충실단면	-
VS-SP-5	종방향	6.0	180	270	60.0	0.65 L	앵커	충실단면	-
VS-SP-6	종방향	6.0	180	270	60.0	0.65 L	케미컬앵커	충실단면	-
VS-SP-7	종방향	6.0	225	225	60.0	0.8 L	앵커	중공관	-

2.2 실험 방법

본 실험에서는 강판 및 CFS로 보강된 시험체의 휨 보강효과 검증을 위해 편칭에 의한 전단파괴를 방지하고 휨 파괴를 유도하도록 $16 \times 40\text{cm}$ 재하판을 이용한 4점 면 재하를 실시하였다. 하중제하는 초기균열하중을 얻기 위해 균열이 발생하는 시점까지 0.1 tonf/sec의 하중제어법을 실시하였고, 이후 파괴시까지 0.02 mm/sec의 변위제어법을 적용하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 보강방법에 따른 거동 특성

보강방법에 따른 보강효과의 영향을 규명하기 위해 보강량과 보강길이가 동일한 상태에서 종방향 및 하부전면 보강한 - 종방향, 하부전면 보강(앵커, V컷 용접)(이상 강판), 종방향, 격자형, 하부전면, U형 하부전면 보강(이상 CFS) - 시험체에 대해 재하 실험을 수행하였으며, 실험결과는 Table 2, Fig. 3에 나타난 바와 같다. 실험 결과, 강판 및 CFS 보강, 모두 하부전면 보강보다는 종방향 보강이 다소 유리한 것으로 나타났다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 탄성구간내에서는 무보강/보강 시험체가 모두 유사한 거동을 나타내지만, 시험체에 균열이 발생하면서부터 종방향 보강 시험체의 하중-처짐 곡선 기울기(강성)가 하부전면 보강의 시험체보다 더 큰 것으로 나타났다.

Table 2 보강방법에 따른 중공슬래브 시험체의 재하 실험 결과

시험체 구분	보강방법	균열하중		항복하중		최대하중		파괴형태
		tonf	비율(%)	tonf	비율(%)	tonf	비율(%)	
Control	무보강	19.83	100	67.33	100	74.87	100	휨파괴 (압축)
강판 보강	VS-SP-1 종방향 보강	34.69	174	-	-	102.02	136	단부박리/전단파괴 (편칭)
	VS-SP-3 하부전면 보강(V컷 용접)	32.47	163	-	-	91.36	122	전단파괴 (편칭)
CFS 보강	VS-CFS-1 종방향 보강	22.03	114	87.45	130	97.79	131	보강재 박리
	VS-CFS-2 격자형 보강	24.60	124	85.08	126	99.01	132	보강재 박리
	VS-CFS-3 하부전면 보강	19.15	97	85.61	127	94.93	127	전단파괴 (편칭)
	VS-CFS-4 하부전면 보강(U형)	22.33	113	85.56	127	86.05	115	전단파괴 (편칭)

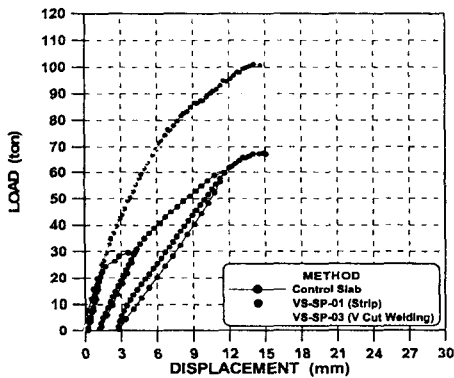


Fig. 3 (a) 보강방법에 따른 하중-처짐 곡선 (강판 보강)

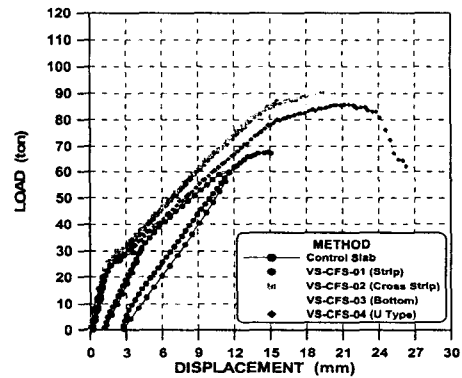


Fig. 3 (b) 보강위치에 따른 하중-처짐 곡선 (CFS 보강)

3.2 보강위치에 따른 거동 특성

보강위치에 따른 보강효과의 영향을 규명하기 위해 보강량, 보강방법, 보강길이가 동일한 상태에서 중공관 하부와 충실단면 하부 보강의 2가지 시험체에 대해 파괴실험을 수행하였다. 실험결과는 Table 3과 Fig. 4에 나타난 바와 같으며, 이는 충실단면에 철근을 집중 배근할 경우 강성과 강도면에서 좀더 우수해진다는 기존 연구결과와 일치한다. 따라서 강판 및 CFS 보강의 경우 모두, 충실단면 하부의 보강이 중공관 하부의 보강에 비해 다소 높은 보강효과를 나타내는 것으로 사료된다.

Table 3 보강위치에 따른 중공슬래브 시험체의 재하 실험 결과

시험체 구분	보강위치	균열하중		항복하중		최대하중		파괴형태
		tonf	비율(%)	tonf	비율(%)	tonf	비율(%)	
Control	-	19.83	100	67.33	100	74.87	100	휨파괴 (압축)
강판 보강	VS-SP-1 충실단면하부	34.69	175	-	-	102.02	136	단부박리/전단파괴 (편칭)
	VS-SP-7 중공단면하부	31.18	157	-	-	96.11	128	단부박리/전단파괴 (편칭)
CFS 보강	VS-CFS-1 충실단면하부	22.03	111	87.45	130	97.79	131	보강재 박리
	VS-CFS-10 중공단면하부	18.69	94	81.01	120	95.79	128	보강재 박리

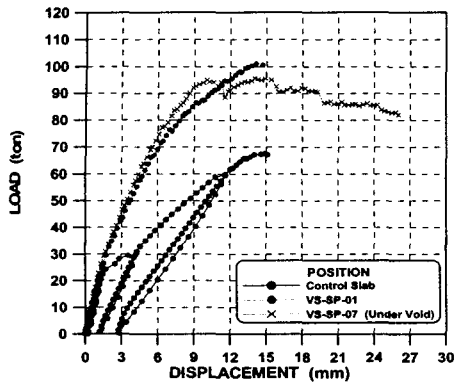


Fig. 4 (a) 보강위치에 따른 하중-처짐 곡선 (강판 보강)

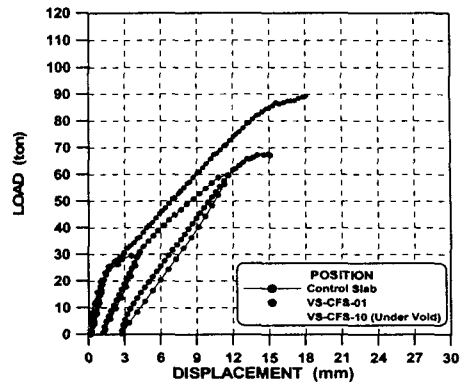


Fig. 4 (b) 보강위치에 따른 하중-처짐 곡선 (CFS 보강)

3.3 보강길이에 따른 거동 특성

보강길이에 따른 보강효과의 영향을 규명하기 위해 보강량, 보강방법, 보강위치가 동일한 상태에서 보강길이를 3가지 형태로 변화시킨 강판 및 CFS 보강 시험체에 대해 재하실험을 수행하였으며, 실험결과는 Table 4와 Fig. 5에 나타난 바와 같다. 실험결과, 강판 보강과 CFS 보강의 경우 모두, 보강길이에 따라 보강효과의 차이가 분명한 것으로 나타났다. 보강길이에 따른 시험체는 강판 및 CFS 보강의 경우 모두, 보강재 단부 박리 현상이 파괴를 지배하였으며 이러한 보강재 단부 박리 현상은 보강길이에 지배됨에 따라 결국 보강길이에 따른 보강 단부의 안전성이 보강효과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다만 실험 결과에서 볼 수 있듯이 CFS 보강의 경우 0.7L 이상에서는 동일한 결과를 나타냄에 따라 강판 보강의 경우가 CFS 보강의 경우보다 보강길이에 대해 좀더 민감한 것으로 판단된다.

Table 4 보강길이에 따른 중공슬래브 시험체의 재하 실험 결과

시험체 구분	보강길이	균열하중		항복하중		최대하중		파괴형태	
		tonf	비율(%)	tonf	비율(%)	tonf	비율(%)		
Control	-	19.83	100	67.33	100	74.87	100	휨파괴(압축)	
강판 보강	VS-SP-1	0.8L	34.69	175	-	-	102.02	136	단부박리/전단파괴(편칭)
	VS-SP-4	0.5L	28.91	146	-	-	78.98	105	단부박리/전단파괴(편칭)
	VS-SP-5	0.65L	26.50	134	-	-	82.58	110	단부박리/전단파괴(편칭)
CFS 보강	VS-CFS-1	0.9L	22.03	111	87.45	130	97.79	131	보강재 박리
	VS-CFS-5	0.5L	19.20	97	80.71	120	88.12	118	보강재 박리
	VS-CFS-6	0.7L	22.09	114	87.00	129	99.98	134	보강재 박리

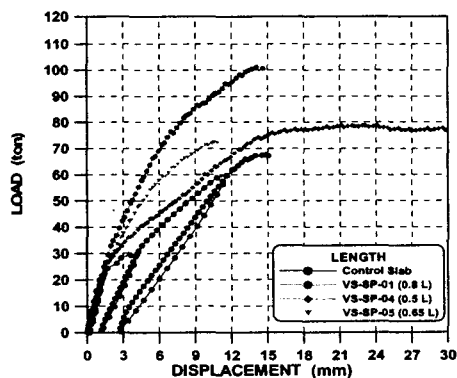


Fig. 5 (a) 보강길이에 따른 하중-처짐 곡선 (강판 보강)

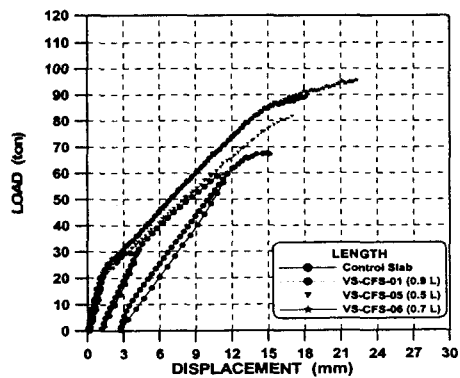


Fig. 5 (b) 보강길이에 따른 하중-처짐 곡선 (CFS 보강)

3.4 보강재 이음에 따른 거동 특성

보강재 이음과 관련하여 이음 방법(강판 보강)과 겹이음 길이(CFS 보강)가 보강효과에 미치는 영향을 검증하기 위해 보강량, 보강방법이 동일한 상태에서 각각 2가지 형태 - 접합강판과 V컷 용접(이상 강판), 겹이음 길이 50, 150 mm(이상 CFS)로 보강된 시험체에 대한 재하실험을 수행하였으며, 실험 결과는 Table 5와 Fig. 6, 7에 나타난 바와 같다. 실험 결과, 강판의 이음방법에 따른 보강효과의 차이는 동일한 하부전면 보강일지라도 V컷 용접 이음을 한 경우가 접합 강판으로 이음한 경우보다 강판 이음부의 안전성 측면에서 다소 효과적인 것으로 나타났으며, CFS의 이음 길이는 50 mm 이상의 겹이음 길이를 확보되면 보강효과에는 별 무리가 없는 것으로 나타났다.

Table 5 보강재 이음에 따른 중공슬래브 시험체의 재하 실험 결과

시험체 구분		이음방법	균열하중		항복하중		최대하중		파괴형태
			tonf	비율(%)	tonf	비율(%)	tonf	비율(%)	
Control		무보강	19.83	100	67.33	100	74.87	100	휨파괴 (압축)
강판 이음 방법	VS-SP-2	접합강판	31.82	160	-	-	107.01	143	강판 이음부 파단/휨 파괴
	VS-SP-3	V컷 용접	32.47	163	-	-	91.36	122	전단파괴 (편칭)
CFS 겹이음 길이	VS-CFS-3	겹이음없음	19.15	97	85.61	127	94.93	127	편칭전단파괴
	VS-CFS-11	50	24.72	125	89.09	132	102.21	137	보강재 박리/이음부 파단
	VS-CFS-12	150	19.93	101	87.79	130	91.55	122	보강재 박리/이음부 파단

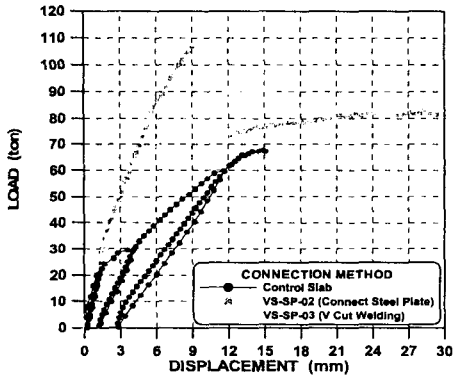


Fig. 6 이음 방법에 따른 하중-처짐 곡선 (강판 보강)

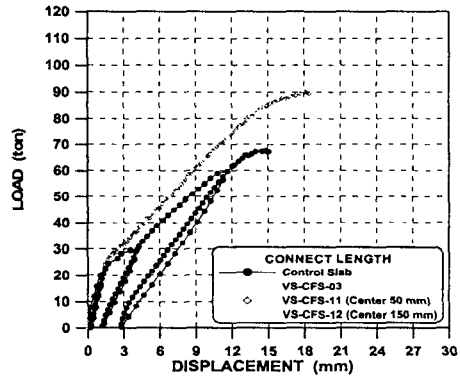


Fig. 7 겹이음 길이에 따른 하중-처짐 곡선 (CFS 보강)

3.5 기타 요인에 따른 거동 특성

본 연구에서는 앞서 제시된 요인들 이외에도 CFS의 단부 정착방법과 강판 정착시 사용되는 앵커볼트의 종류 등이 보강효과에 미치는 영향을 규명하기 위해 재하실험을 수행하였으며, 실험결과는 Table 6, 7과 Fig. 8, 9에 나타난 바와 같다. 실험 결과, 단부정착방법(CFS 보강)이나 앵커종류(강판 보강)에 따른 균열하중이나 최대하중의 차이는 미미하여 보강효과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Table 6 CFS 단부 정착방법에 따른 중공슬래브 시험체의 재하 실험 결과

시험체	단부정착방법	균열하중		항복하중		최대하중		파괴형태
		tonf	비율(%)	tonf	비율(%)	tonf	비율(%)	
Control	-	19.83	100	67.33	100	74.87	100	휨파괴(압축)
VS-CFS-6	-	22.09	111	87.00	129	99.98	134	보강재 박리
VS-CFS-7	CFS	22.12	111	85.62	127	94.99	127	보강재 박리
VS-CFS-8	일반앵커	22.24	112	86.05	128	96.75	129	보강재 박리
VS-CFS-9	케미컬앵커	24.08	121	88.35	131	98.81	132	보강재 박리

Table 7 강판 정착시 앵커 종류에 따른 중공슬래브 시험체의 재하 실험 결과

시험체명	앵커종류	균열하중		항복하중		최대하중		파괴형태
		tonf	비율(%)	tonf	비율(%)	tonf	비율(%)	
Control	무보강	19.83	100	67.33	100	74.87	100	휨파괴(압축)
VS-SP-5	앵커(일반)	26.50	134	-	-	82.58	110	단부박리/전단파괴(편칭)
VS-SP-6	케미컬 앵커	25.44	128	-	-	83.17	111	단부박리/전단파괴(편칭)

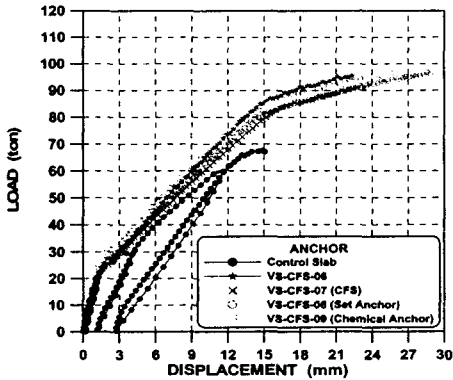


Fig. 8 단부정착방법에 따른 하중-처짐 곡선 (CFS 보강)

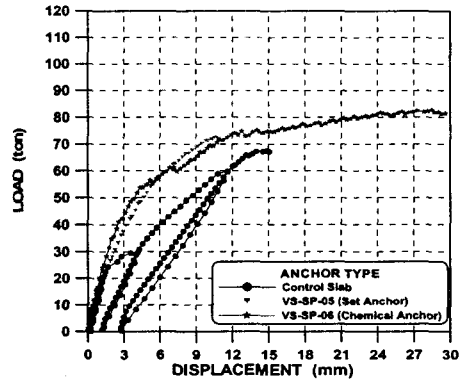


Fig. 9 앵커종류에 따른 하중-처짐 곡선 (강판 보강)

4. 결 론

본 연구에서는 강판 및 CFS로 보강된 RC 중공슬래브교에 대해 보강방법, 보강길이, 보강위치(이상 공통), 이음방법 및 앵커종류(이상 강판 보강), 겹이음 길이, 단부 정착방법(이상 CFS 보강) 등이 보강효과에 미치는 영향을 규명하기 위한 실험적 연구를 수행하였으며, 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 보강재의 보강량과 보강길이가 동일할 경우, 보강방법에 따른 보강효과의 차이는 강판 및 CFS 보강 모두, 하부전면 보강보다는 종방향 보강한 경우가 최대 하중 및 강성 측면에서 다소 유리한 것으로 나타났다.
2. 보강재의 보강량 보강방법, 보강길이가 동일할 경우, 보강위치에 따른 보강효과의 차이는 강판 및 CFS 보강의 경우 모두, 충실단면 하부의 보강이 중공관 하부의 보강에 비해 다소 높은 보강효과를 발휘하는 것으로 나타났다.
3. 보강재의 보강량과 보강위치가 동일할 경우, 보강길이는 강판 및 CFS 보강 모두, 보강효과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 보강 시험체의 파괴를 지배하는 보강재 단부 박리 현상이 보강길이에 지배됨에 따라 기인하는 것으로 판단된다. 또한 이러한 현상은 CFS 보강의 경우보다 강판 보강의 경우가 좀더 민감한 것으로 파악되었으나 두 경우 모두, 실 구조물 적용시에는 시공관리나 안전성을 고려하여 보강길이를 지점부까지 최대한 연장하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
4. 보강재 이음과 관련한 보강효과의 차이는 강판의 이음방법의 경우, V컷 용접 이음을 한 경우가 접합강판으로 이음한 경우보다 강판 이음부의 안전성 측면에서 다소 효과적인 것으로 나타났으며, CFS의 이음 길이는 50 mm 이상의 겹이음 길이를 확보할 경우, 보강효과에는 별 무리가 없는 것으로 나타났다.
5. 단부정착방법(CFS 보강)이나 앵커종류(강판 보강)에 따른 균열하중이나 최대하중의 차이는 미미하여 보강효과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 한국건설기술연구원(1996), 신설 및 노후 교량 구조물의 개선된 내하력 평가시스템 및 보수기법 개발, 건설교통부.
2. 한국건설기술연구원(1996), RC 구조물의 보수·보강재에 관한 조사 연구, 건설교통부.
3. 한국건설기술연구원(1999), 콘크리트 교량의 보수·보강 방법의 표준화, 건설교통부.
4. 한국건설기술연구원(2000), 콘크리트 교량의 보수·보강 재료 품질 기준 및 공법 평가 기준 개발, 건설교통부.
5. 한국건설기술연구원(2001), 교량의 설계 및 시공지침 작성 연구, 건설교통부.