

사용하중을 받는 RC보의 탄소섬유 휨 보강에 관한 해석적 연구

윤태호^{1*}, 강경수²

¹창원대학교 건축공학과, ²동명대학교 건축공학과

Analytical Study on the Flexural Strength of CFS Reinforced Concrete Beams under Service Loads

Tae-Ho Yoon^{1*} and Kyung-Soo Kang²

¹Department of Architectural Engineering, Changwon University

²Department of Architectural Engineering, Dongmyung University

요약 본 연구에서는 사용 중에 있는 철근콘크리트 보의 사용하중 단계에 따른 탄소섬유 보강 후의 휨보강 효과를 분석·고찰하였다. 사용하중을 받는 RC 보의 탄소섬유시트 보강에 따른 원부재와의 초기변형률 차이와 하중상태에 따른 잔류변형률의 영향을 고려하고, 보강 후 거동에 영향을 미치는 해석변수들에 대한 비선형 단면해석을 수행하여, 보강단계에 따른 보강보의 거동특성 및 보강효과에 대해 고찰하고, 기존 실무에서 보강설계시 가장 많이 사용되는 신영수-홍건호식과 비교·검토하였다. 보강 겹수, 인장철근비, 단면치수비를 변수로 한 변수 해석을 수행하여 보강단계에 따른 휨강도의 변화를 확인하고 보강 시기에 따른 휨강도를 계산하고 휨보강 효과를 분석하였다.

Abstract In this study flexural strength of damaged concrete beams reinforced by CFS is analysed. Nonlinear section analysis is used to include stress status of tension bars and compressive concrete under loads acting on the original member at the time of strengthening. Calculated flexural strength is compared with Sin-Hong formula which is frequently used in CFS reinforcement design.

Nonlinear analysis with variation of the number of strengthening CFS, the ratio of tensile reinforcement, the ratio of section dimension shows that the flexural strength of CFS reinforced beams much depends on reinforcing stage. From the result of this analysis, the flexural strength of CFS reinforced concrete beam is reduced according to the magnitude of pre-loaded service loads.

Key Words : CFS reinforcement, Service loads, Flexural strength, Nonlinear section analysis

1. 서론

최근 국내외적으로 철근콘크리트 보의 보강공법으로 탄소섬유시트 부착공법이 신뢰성 있는 보강효과 뿐만 아니라, 보수시공의 수월성 및 시공 후에도 부재치수의 변화가 적기 때문에 토목 및 건축구조물에 널리 적용되고 있다[1,2].

이러한 보강보의 휨강도를 산정함에 있어 많은 방법들이 제시되어 왔으나, 실구조물에서 고정하중과 적재하중 등에 의한 원부재의 초기변형률과 부분적인 손상상태에 따른 휨강도의 차이와 보강 후 파괴거동의 변화에 대

해 전혀 고려되어 있지 않다[3].

따라서 본 연구에서는 탄소섬유시트의 보강시 사용하중상태에 따른 보강대상 부재의 내부응력상태 및 초기변형률을 고려한 합리적인 보강설계를 위한 기초자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

이를 위하여 하중상태와 초기응력상태에 따른 잔류변형률의 영향을 고려한 비선형 단면해석 프로그램을 사용하여, 보강 겹수, 인장철근비, 단면치수비등 보강 후 거동에 영향을 미치는 해석변수들에 대한 해석을 수행하고, 보강단계에 따른 보강보의 거동특성 및 보강효과에 대해 고찰함으로써, 해석결과를 이용하여 사용하중상태에 따

*교신저자 : 강경수(koosin@tu.ac.kr)

접수일 11년 05월 30일

수정일 (1차 11년 07월 07일, 2차 11년 08월 02일)

계재확정일 11년 08월 11일

른 휨강도를 계산하고 휨보강 효과를 분석하였다.

2. 해석모델

2.1 해석의 가정

본 연구에서는 탄소섬유시트로 보강된 철근콘크리트 보강보의 역학적 거동을 파악하기 위해 탄소섬유시트의 보강시기에 따른 잔류변형률과 철근콘크리트 보의 손상 상태에 따른 잔류변형률을 고려하였다. 보강 전 가력하중에 의한 인장철근과 압축콘크리트의 응력상태에 따라 다음의 2가지 보강단계로 구분하여 해석을 수행하였다.

- 1) 비가력 보강($\epsilon_s = 0, \epsilon_c = 0$)
- 2) 사용하중 상태에서 보강 ($\epsilon_s < \epsilon_y, \epsilon_c < \epsilon_0$)

단, 보강단면의 해석에서 탄소섬유시트의 단부박리나 계면박리 등의 부착파괴에 의한 영향은 무시하였으며, 따라서 탄소섬유시트 파단 시나 압축콘크리트의 압축파괴 시까지 탄소섬유시트와 무보강보는 완전히 부착하여 거동하는 것으로 가정하였다.

2.2 재료의 적용모델

본 연구에서 사용된 콘크리트의 압축응력-변형률선도는 Hognested[4]의 모델식을 사용하였다.

파괴 시 응력은 압축강도에서 0.15 f_{ck} 만큼 감소한 후 파괴되는 것으로 가정하였으며, 파괴 시 변형률은 0.0038로 가정하여 해석하였다.

$$\epsilon_c \leq \epsilon_0, f_c = f_{ck} \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_0} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$\epsilon_c \geq \epsilon_0, f_c = f_{ck} \left[1 - \frac{0.15}{\epsilon_{cu} - \epsilon_0} (\epsilon_c - \epsilon_0) \right] \quad (2)$$

콘크리트의 인장응력-변형률 관계는 그림 2와 같이 Scordelis 등[5]이 제안한 모델을 적용하였다. 인장변형률에 따른 인장응력은 다음과 같은 3구간으로 나누어 표현된다.

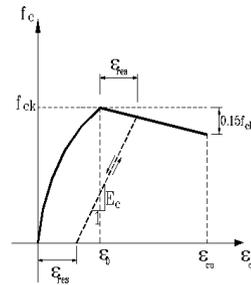
$$\epsilon_c \leq \epsilon_{tp}, f_t = E_s \epsilon_c \quad (3)$$

$$\epsilon_{tp} < \epsilon_c < \epsilon_{tf}, f_t = f_r - (\epsilon_c - \epsilon_{tp})(-E_t) \quad (4)$$

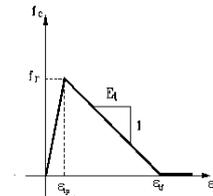
$$\epsilon_c > \epsilon_{tf}, f_t = 0 \quad (5)$$

여기서, $E_t = -\frac{4.93}{4.01 + f_r} E_c$

여기서, E_t 는 변형률 연화계수이며 중립축 이하 균열 발생 영역에서의 콘크리트의 평균 인장응력을 나타낸 것이다. f_t 및 f_r 는 균열직각방향의 콘크리트 인장응력과 파괴계수, $\epsilon_c, \epsilon_{tp}$ 및 ϵ_{tf} 는 각각 콘크리트 일축변형률, 최대 인장응력 및 인장응력이 0일 때의 변형률이다.



[그림 1] 콘크리트의 압축응력-변형률관계
[Fig. 1] Comp. stress-strain curve of concrete



[그림 2] 콘크리트의 인장응력-변형률관계
[Fig. 2] Tensile stress-strain curve of concrete

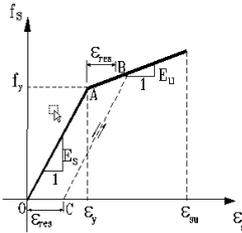
철근의 응력-변형률 관계는 그림 3과 같이 변형률 경화현상을 고려한 bilinear모델을 사용하였으며, 항복전과 항복후의 응력식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \epsilon_s < \epsilon_y, f_s &= E_s \epsilon_s \\ \epsilon_s > \epsilon_y, f_s &= f_y + E_u (\epsilon_s - \epsilon_y) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, E_u 는 콘크리트 속에 있는 철근의 변형률 경화 계수, f_y 와 ϵ_y 는 항복응력 및 항복변형률이다.

변형률 경화계수 E_u 는 연구자들에 따라 다른 값이 제시되고 있으며, Hu.[6]는 철근콘크리트 판 및 쉘 해석 시 $E_u = 0.01E_s$ 로 가정하였고, Owen 등[7]은 $E_u = 0.1E_s$

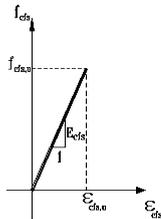
로 가정하였는데, 본 연구에서는 $E_u = 0.01E_s$ 로 가정하였다.



[그림 3] 철근의 응력-변형률관계
[Fig. 3] Stress-Strain curve of steel

잔류변형률 ϵ_{res} 는 항복점 A를 지나 제하점인 B점까지의 추가적인 변형률과 동일하게 가정하였다.

탄소섬유시트의 응력-변형률 관계는 그림4와 같이 완전탄성체로 거동하며, 탄소섬유시트의 파단 시까지 선형적으로 증가하는 것으로 가정하였다[8].



[그림 4] CFS의 응력-변형률 관계
[Fig. 4] Stress-Strain curve of CFS

2.3 비선형 해석 알고리즘

비선형 해석에 의한 보강시점에 따른 보강단면의 해석 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

먼저 무보강 콘크리트의 압축연단에서의 변형률 ϵ_{cm} 을 가정한 후 변형률 적합조건을 이용하여 철근 및 탄소섬유시트의 변형률을 구한다. 계산된 변형률로부터 콘크리트의 응력블록계수 (α, k_3) 및 도심계수 (γ, k_4), 그리고 콘크리트, 철근과 탄소섬유의 내력을 계산하고, 반복해석기법을 이용하여 평형조건식을 만족하는 중립축 C_1 을 구한다. 계산된 중립축을 이용하여 공칭모멘트 M , 중앙부 처짐 δ , 외부하중 P 를 계산하고 출력한다.

여기서 계산된 외부하중 P 가 보강재 보강시의 하중 $P_{rein f}$ 이상이면, 보강 후 거동으로 해석된다.

보강 후 해석에서는 무보강보에서와 마찬가지로 변형률 적합조건을 이용하여 구성요소들의 변형률을 구하고, 내력에 대한 평형조건식에서 반복해석기법으로 중립축 C_2 을 구한다. 단, 보강시 하중에 따라 인장철근의 항복 유무와 압축콘크리트의 변형률이 항복변형률 ϵ_{cy} 이상인지 확인하고, 잔류변형이 발생한 경우는 구성방정식에 의해 응력을 계산한다. 계산된 중립축을 이용하여 공칭모멘트 M , 중앙부 처짐 δ , 외부하중 P 를 계산하고 출력한다.

또한 각 하중단계에서 외부하중 P 가 탄소섬유시트의 극한변형률에 도달할 시의 하중에 도달하면, 탄소섬유시트가 하중을 받지 못하는 것으로 가정하여 탄소섬유의 응력 σ_{cfs} 를 0으로 두고 해석한다.

이후 보강 전 해석과 동일한 과정으로 콘크리트의 압축연단 변형률 ϵ_{cm} 을 최대변형률 0.0038까지 일정한 증가량 $\Delta\epsilon_{cm}$ 으로 증가시켜 해석을 수행한다.

3. 보강단면 해석

현재 실무적으로 보강 설계 시 가장 많이 사용되고 있는 범용 프로그램인 MIDAS-SET에 탑재된 신영수-홍건호식(이하 기존 해석)의 보강 설계 결과와 본 연구의 비선형 해석 프로그램에 의한 해석 결과를 비교 검토하여 실제 스케일의 일반적인 철근콘크리트 보를 대상으로 사용하중상태에 따른 내력 변화의 유무를 검토하였다.

3.1 해석대상

해석 대상 보는 현재 일반적인 설계 범위의 치수로써 폭 B는 400mm로 고정하고 전체 높이를 600mm, 700mm, 800mm로 하였으며, 콘크리트 압축강도 $f_{ck} = 24MPa$, $f_y = 400MPa$, 인장철근을 5-D22, 7-D22, 9-D22로 결정하였다. 또한, 보강 후 탄소섬유시트의 보강량을 포함한 보강철근비가 최대 철근비 $\rho_{max} = 0.75\rho_b$ 를 넘지 않도록 하여 인장철근의 항복이 압축콘크리트의 압축파괴보다 선행하도록 하였다.

보강에 사용될 탄소섬유시트의 치수와 물성치 또한 현재 실무적으로 가장 널리 적용되는 값으로 결정하였으며, 다음 표 1과 같다.

[표 1] CFS의 보강 치수 및 물성치

[Table 1] Properties of CFS

1겹의 두께 (mm)	보강폭 (mm)	보강 겹수	최대변형률 (%)	인장강도 (MPa)
1.1	400	1, 2겹	1.5	3550

3.2 무보강보의 해석결과

무보강 보에 대해 기존 해석과 본 해석결과를 비교 하여 본 해석에 대한 신뢰성을 확인하고자 한다.

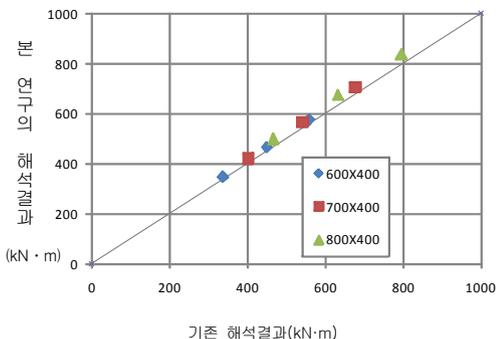
해석 시 압축콘크리트의 극한 변형률은 0.003, 강도감소계수 0.85로 고려하여 해석을 수행하였다.

무보강보의 설계강도에 대한 해석결과는 다음 표 2 및 그림 5와 같으며, 기존 이론식에 대해 본 연구의 해석 결과가 최대 오차범위 6.5% 이내로 근접한 결과를 나타내었다.

[표 2] 무보강보의 휨강도 해석 결과

[Table 2] Flexural strength of RC beam w/o CFS

단면치수 (D×B)	인장 철근	설계강도 (ΦM_n)	
		기존 해석 (kN·m)	본 연구 (kN·m)
600×400	5-D22	336.98	346.14
	7-D22	449.65	466.56
	9-D22	557.88	577.34
700×400	5-D22	402.81	422.73
	7-D22	541.83	569.69
	9-D22	676.32	706.26
800×400	5-D22	468.54	501.22
	7-D22	633.91	675.18
	9-D22	794.66	837.44



[그림 5] 무보강보의 설계강도 해석 결과 비교

[Fig. 5] Flexural strength of RC beam w/o CFS

3.3 비가력 보강보의 해석결과

비가력 보강보에 대해 기존식의 해석 결과와 본 해석 결과를 비교하여 보강보에 대한 본 해석의 신뢰성을 확인하였다.

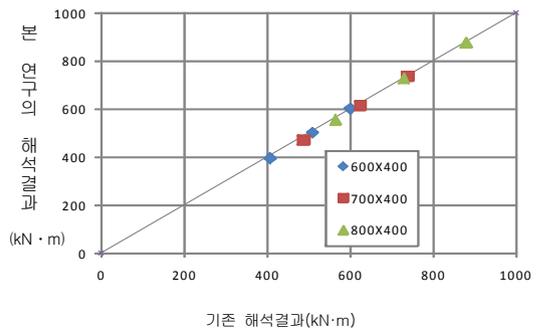
[표 3] 비가력 보강보의 휨강도 해석 결과

[Table 3] Flexural strength of beam w/ CFS

단면치수 (D×B)	보강 겹수	인장 철근	설계강도 (ΦM_n)	
			기존 해석 (kN·m)	본 연구 (kN·m)
600×400	1	5-D22	408.85	396.38
		7-D22	510.57	501.97
		9-D22	601.42	600.95
700×400	1	5-D22	487.90	473.64
		7-D22	624.94	617.10
		9-D22	738.46	737.71
800×400	1	5-D22	567.14	554.77
		7-D22	730.34	726.56
		9-D22	878.71	877.58

해석 조건은 압축콘크리트의 극한 변형률은 0.003, 강도감소계수 0.85 및 탄소섬유시트에 대한 감소계수는 1.0으로 고려하여 해석을 수행하였다.

비가력 보강보의 설계강도에 대한 해석결과는 표 3 및 그림 6과 같으며, 기존식의 해석 결과에 대해 본 연구의 해석 결과가 최대 오차범위 6.0% 이내로 매우 근접한 결과를 나타내었다.



[그림 6] 비가력 보강보의 설계강도 비교

[Fig. 6] Flexural strength of RC beam w/ CFS

3.4 보강시점을 고려한 보강보의 해석 결과

보강설계 대상보의 보강시 하중상태 및 그에 따른 콘크리트와 철근의 응력상태를 고려한 해석결과와 기존식

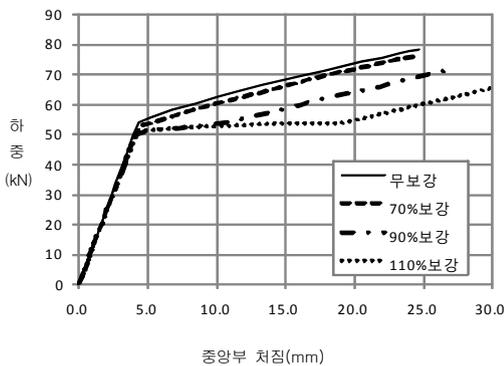
의 해석 결과를 비교·검토하여 가력시점에 따른 설계내력의 변화를 확인하였다.

해석 시 고려한 보강 시점은 무보강보의 설계강도 ϕM_n 을 기준으로 설계강도의 70%, 90%, 110% 작용 시로 하였다[9].

전체적으로 해석변수의 범위에서 보강단계에 따라 최대내력이 감소하였으며, 보강단계에 따른 내력저하는 인장철근비가 낮을수록 보강접수가 많을수록 증가하였다. 해석모델의 파괴모드는 인장철근비가 상대적으로 낮은 경우 비가력 보강시 시트의 파단에 의해 파괴되며, 항복 전 보강단계에서 시트가 파단되며 내력이 다소 증가하였으나, 항복 후 보강단계 이후 압축콘크리트의 압축파괴로 파괴모드가 변화되면서 최대내력은 크게 감소하고 최대 내력시 처짐은 크게 증가하였다.

하중과 중앙처짐의 관계는 유사하게 나타났으며, 단면 치수 700x400(7-D22)이며, 1겹보강인 경우를 대표적으로 그림 7에 나타내었는데, 비가력시 압축파괴로 나타났으며, 이후 보강단계에 따라 파괴모드의 변화 없이 최대 내력은 감소하고 최대내력시 처짐은 증가하였다.

보강단계에 따른 이러한 거동변화는 해석변수의 범위에서 동일한 경향을 나타내었으며, 보강접수가 적을수록, 인장철근비가 많을수록 단면치수비가 클수록 이러한 파괴모드의 변화를 나타내는 보강단계가 늦어지는 경향을 나타내었다.



[그림 7] 보강단계별 하중-처짐 관계
[Fig. 7] Load-deflection curve

보강 단계에 따른 각 보의 설계강도는 표 4에 나타난 바와 같다. 보강시점이 설계강도의 70%와 90%인 경우는 인장철근 항복 전 보강에 해당되며, 110%인 경우는 인장철근 항복 후 보강단계에 해당된다.

파괴모드는 인장철근비가 증가할수록 탄소섬유시트의 파단에서 콘크리트의 압축파괴로 변화하였으며, 동일 인

장철근비에 대해서 보의 높이가 클수록 압축 콘크리트의 압축력이 상승하여 탄소섬유시트가 파단될 가능성이 높은 것으로 나타났다. 또한, 보강접수가 2겹일 경우가 1겹일 경우보다 압축파괴로 나타난 해석 모델이 많이 나타났다.

무보강보의 설계강도 ϕM_n 의 70%, 90%에서 보강할 경우는 인장철근이 항복하기 이전 단계로 시트가 파단될 경우는 비가력 보강과 거의 동일한 설계강도를 나타내었으며, 콘크리트가 압축파괴 되는 경우에도 8%이내의 다소 낮은 강도저하를 나타내었다. 반면, 설계강도의 110%에서 보강하는 경우는 보강 전 이미 인장철근이 항복하여 1겹 보강시는 최대 18%, 2겹 보강시는 최대 20% 정도의 큰 강도저하를 나타내었다.

이러한 설계강도의 저하비율은 동일 폭에 대해 보의 높이가 작을수록, 인장철근비가 낮을수록 보강 접수가 많을수록 증가하는 경향을 나타내었다.

[표 4] 보강시점에 따른 휨강도 해석 결과

[Table 4] Flexural strength of RC beam w/ CFS

(a) 1겹 보강 (단위: kN·m)						
단면치수 (D×B)	보강 접수	인장 철근	기준 해석 결과	보강 시점 (ϕM_n 에 대한 %)		
				70	90	110
600×400	1	5-D22	408.9	392.6	381.4	334.4
		7-D22	510.6	495.4	484.1	450.7
		9-D22	601.4	594.4	583.2	549.5
700×400		5-D22	487.9	477.7	478.0	411.6
		7-D22	624.9	609.5	597.8	553.0
		9-D22	738.5	730.2	718.7	686.1
800×400		5-D22	567.1	557.1	557.0	490.4
		7-D22	730.3	727.1	715.4	656.9
		9-D22	878.7	869.0	857.7	824.2
(b) 2겹 보강 (단위: kN·m)						
단면치수 (D×B)	보강 접수	인장 철근	기준 해석 결과	보강 시점 (ϕM_n 에 대한 %)		
				70	90	110
600×400	2	5-D22	481.7	447.3	434.2	387.0
		7-D22	596.7	537.5	524.4	486.8
		9-D22	710.3	626.3	612.9	585.0
700×400		5-D22	571.0	558.9	545.2	498.3
		7-D22	712.7	666.6	652.6	615.0
		9-D22	852.2	774.2	760.3	732.1
800×400		5-D22	661.2	653.1	653.1	606.1
		7-D22	828.8	801.2	787.9	750.3
		9-D22	995.1	927.0	911.4	883.3

무보강보에 대한 보강단계별 최대내력비는 보강단계에서 시트의 파단으로 파괴될 경우, 최대내력이 다소 증

가하였으나, 전체적으로 보강단계가 늦을수록 감소하며, 특히 항복 후 보강단계 이후 급격한 내력의 저하를 나타내었다. 또한 이러한 보강단계별 최대내력의 저하는 보강접수가 많을수록, 인장철근비가 낮을수록 증가하였으며, 전체 해석변수의 범위에서 보강접수에 따른 내력저하폭이 더 크게 나타나, 인장철근비와 보강접수에 따른 보강단계별 내력저하는 보강접수의 영향을 더 받는 것으로 나타났다. 또한 인장철근비가 높을 경우, 보강단계별 최대내력이 거의 근접한 값을 나타내었는데, 이는 인장철근비가 높아질수록 보강시점 이후 압축파괴시까지의 탄소섬유시트가 내력을 부담하는 범위가 감소하기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서는 철근콘크리트 보의 탄소섬유시트 보강시 원 부재에 작용하고 있는 하중에 의한 인장철근과 압축 콘크리트의 응력상태에 따른 단면해석을 수행하고, 기존 실무에서 보강 설계 시 가장 많이 사용되는 범용 프로그램에 탑재된 신영수-홍건호식과 비교검토하였다. 보강접수, 인장철근비, 단면치수비를 변수로 한 변수 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 보강 전 사용하중에 의한 초기변형률과 잔류변형률을 고려한 휨해석 결과, 보강단계에 따라 탄소섬유시트 보강보의 휨 파괴모드와 보강효율이 변화함을 확인하였다.
2. 무보강보의 설계강도 ϕM_n 의 70%, 90%에서 보강할 경우는 인장철근이 항복하기 이전 단계로 기존식의 해석결과와 비교할 때, 설계강도 90%인 상태에서는 최대 7%, 설계강도 70%인 상태에서는 4%의 강도저하를 나타내었다.
3. 반면, 설계강도의 110%에서 보강하는 경우는 보강 전 이미 인장철근이 항복하여 1겹 보강시는 최대 18%, 2겹 보강시는 최대 20% 정도의 큰 강도저하를 나타내었다.

이러한 설계강도의 저하비율은 동일 폭에 대해 보의 높이가 작을수록, 인장철근비가 낮을수록 보강 접수가 많을수록 증가하는 경향을 나타내었다.

References

[1] Wan-Chul Choi, et al., "Repair and rehabilitation of

concrete structures", Journal of Korean Concrete Institute, Vol.47 No.6, pp. 5-12, Dec., 1995.

- [2] Jong-Yeol Lee, et al., "Recent development of structural repair and rehabilitation materials", Journal of Korean Concrete Institute, Vol.47 No.4, pp. 34-45, April., 1995.
- [3] Jong-Sung Shim, "The Currency of Recent Studies for the Repair and Rehabilitation of R/C Structures ", Journal of Korean Concrete Institute, Vol.7 No.6, pp. 64-73, Dec., 1995.
- [4] E. Hognestad, N. W. Hanson, "Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength Design", ACI Journal, Vol. 52, No. 4, pp. 475~479, December 1955.
- [5] Scordelis, C. Alexander, C. S. Lin, "Nonlinear Analysis of RC Sheels of Gernal Form Proceeding", ASCE, Vol. 101, DT3, pp. 523~538, Mar., 1975.
- [6] Hu, M. T., and Schmobrich, W. C., "Nonlinear finite element analysis of Reinforced Concrete and Sheels under Monotonic Loading", Computer & Structure, Vol. 38, No. 516, pp. 637~651, 1991.
- [7] Owen, D. R. J., and Hinton, E., "Finite Elements in Plasticity", Pineridge Press, Swansea, pp. 157~373, 1980.
- [8] Daewoo Institute of Construction Technology, "Strength Evaluation of CFS reinforced beams", Hankuk Carbon, 1997.
- [9] Alfarabi Sharif, G. J. Al-Sulaimani, I. A. Basunbul, M. H. Baluch, and B. N. Ghaleb, "Strengthening of Initially Loaded Reinforced Concrete Beams Using FRP Plates", ACI Structural Journal, March-April, pp. 160~168, 1994.

윤 태 호(Tae-Ho Yoon)

[정회원]



- 1991년 2월 : 서울대학교 대학원 건축학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 서울대학교 대학원 건축학과 (공학박사)
- 1996년 5월 ~ 1998년 2월 : 삼성물산건설부문 기술연구소
- 1998년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

내진설계, 철근콘크리트구조

강 경 수(Kyung-Soo Kang)

[정회원]



- 1992년 2월 : 서울대학교 대학원 건축학과 (공학석사)
- 1997년 8월 : 서울대학교 대학원 건축학과 (공학박사)
- 1997년 10월 ~ 2000년 2월 : 삼성물산건설부문 기술연구소
- 2000년 2월 ~ 현재 : 동명대학교 건축공학과 부교수

<관심분야>

구조물진동, 철근콘크리트구조