

철근의 부식을 고려한 RC보의 휨파괴 거동

어석홍^{1*}, 이창현¹, 이상준²
¹창원대학교 토목공학과, ²신승 E&C

Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Considering Steel Corrosion

Seok-Hong Eo^{1*}, Chang-Hyun Lee¹ and Sang-Jun Lee²

¹Department of Cibil Engineering, Changwon National University, ²Shin Seung E&C Co., Ltd.

요약 본 논문에서는 철근의 부식을 고려한 철근콘크리트(RC)보의 휨파괴거동을 규명하기 위하여 수행한 일련의 3점휨 파괴시험 및 해석적 연구 결과를 제시하였다. 실험적 연구를 위하여 총12개의 시편보를 제작하였으며, 염수분무시험 챔버를 이용하여 10개월간 촉진부식토록 하였다. 철근부식에 미치는 균열의 영향을 분석하기 위하여 일부 시험체를 공칭휨강도의 30% 와 60%에 해당하는 최대하중으로 미리 하중을 가한 후 염수분무 시험챔버에 보관하였다. 재령 5개월 및 10월에 각각 휨파괴시험을 실시하였으며 최대하중과 하중-처짐곡선을 측정하였다. 실험결과 철근의 부식정도에 따라 철근과 콘크리트간의 부착력 손실이 발생하고 그에 기인하여 휨강도는 최대 5.4%, 연성도는 최대 43%의 저하가 발생하여 철근의 부식이 최대 하중 보다 연성도에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 한편, Maaddawy의 해석적 모델을 이용한 수치해석결과 철근의 부식을 고려한 RC보의 휨파괴거동을 상당부분 잘 묘사할 수 있는 것으로 나타났다.

Abstract This paper presents experimental and analytical research results to predict nonlinear flexural behavior of corroded reinforced concrete beams. For this purpose, a series of test and an analytical simulation using the Maaddawy's model were carried. Test specimens of total 12 RC beams were placed in accelerated corrosion status using salt water spray test chamber for 5 months and 10 months, after they were preloaded up to 30% and 60% of the maximum load corresponding to nominal flexural strength. The test results showed that flexural strength and ductility decreased to 5.4% and 43% at the most respectively due to breakdown of bond at the steel-concrete interface. Comparative study between the analytical predictions and the experimental results showed that the Maaddawy's model can be applied to predict a real corroded RC flexural members.

Key Words : Cracking, Ductility, Flexural failure behavior, Load-deflection curve, Reinforcement corrosion

1. 서론

철근콘크리트 구조물은 여러 가지 원인에 의하여 열화가 진행되어 기대했던 수명을 다하지 못하고 그 성능을 상실하는 경우가 많다. 이렇게 보통 환경 하에서 반영구적이라고 불리던 철근콘크리트 구조물의 수명을 단축시키는 요인중 하나로 염소이온 침투로 인한 철근부식과 균열발생을 들 수 있다. RC구조

물의 철근이 부식하면 체적팽창이 현저하게 일어나 팽창압력이 철근을 감싼 콘크리트에 인장균열을 유발시키고, 더욱이 균열틈새로 물이나 공기의 침입이 원활하게 됨으로써 철근의 부식을 촉진시키는 결과를 가져온다. 이러한 염해에 의해 철근이 부식하면 철근부식에 의한 철근의 유효단면적의 감소에 의해 RC구조물의 구조성능을 저하시킨다. 그러므로 철근이 부식한 RC구조물의 내력성능을 정량적으로 평가하는 수법이 필요하다고 판단

본 논문은 창원대학교 교내공모과제로서 수행되었음.

*Corresponding Author : Seok-Hong Eo(Changwon National Univ.)

Tel: +82 10-4585-8049 email: esh@changwon.ac.kr

Received January 21, 2014

Revised (1st March 17, 2014, 2nd March 28, 2014)

Accepted May 8, 2014

된다.

특히 해양환경에 위치한 이른바 해양 콘크리트 구조물은 설계, 시공 및 유지관리에 있어서 염해문제에 대한 대책을 제대로 수립하지 못하는 경우, 염해환경에서 비교적 조기에 열화되어 목표수명을 채우지 못하고 대규모 보수를 실시하거나 해체해야 되는 사례가 선진 각국에서 보고되고 있는 실정이다. 그리고 일단 염해에 의한 열화 현상이 나타난 경우에는 보수를 실시하더라도 재열화에 의한 성능저하가 발생하여 유지보수비용의 급격한 증가를 가져올 수도 있다. 이와 같이 해양콘크리트의 염해에 의한 철근부식과 그에 따른 구조물의 내하력저하 현상을 규명하여 해양구조물의 설계기법과 유지관리방안의 개선을 위한 기초자료를 마련할 필요가 절실하다고 할 수 있다[1-6].

따라서 본 연구는 철근부식을 모형화한 RC보를 제작한 후 휨과괴 실험을 통하여 철근의 부식이 철근콘크리트 구조부재의 휨과괴거동에 미치는 영향을 분석하고, 실험결과와의 비교분석을 위하여 해석적모델을 이용하여 이론적 수치계산을 수행하고자 하였다.

2. 실험

2.1 실험 방법

기발생 균열이 철근부식에 미치는 영향을 알아보기 위하여 공칭휨강도의 30% 와 60%를 미리 가한 후 하중을 제거하고 촉진부식 시험장치에 일정기간 존치한 후 휨과괴시험을 실시하였다. Table 1에 나타난 바와 같이 시험체는 건전한 기준시험체를 포함하여 총 12개(6개씩 2시리즈)를 제작하여 한 시리즈는 5개월, 나머지 한 시

[Table 1] Experimental program

Series	Specimen	Preloding	Corrosion period
Series 1	00-5A	N/A	5 Months
	00-5B		
	30-5A	30% of Mn	
	30-5B		
	60-5A	60% of Mn	
	60-5B		
Series 2	00-10A	N/A	10 Months
	00-10B		
	30-10A	30% of Mn	
	30-10B		
	60-10A	60% of Mn	
	60-10B		

리는 10개월 동안 염수분무시험기내에서(Fig. 1) 촉진부식 시킨 후 액추에이터를 이용하여 3점휨시험을 실시하고 하중, 변위 및 균열발생양상을 측정하였다.



(a) Corrosion chamber and controller

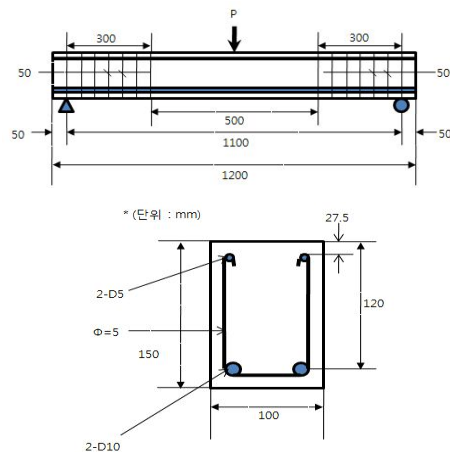


(b) Test specimens inside salt spray chamber

[Fig. 1] Accelerated corrosion test apparatus

2.2 시험체

시험체제원은 Fig. 2에 나타내었다. 시험체의 외형치수는 폭 100mm, 높이 150mm, 길이 1200mm로 전단스팬비는 4.58이다.



[Fig. 2] Geometry of the test specimen (Unit : mm)

휨파괴가 일어나기 전에 예상되는 만일의 진단파괴 방지를 위하여 양지점 부위 일정구간을 50mm 간격으로 D5의 진단철근을 배근하였다. 시험체 종류는 Table 1에 나타내며 시험체의 앞의 숫자는 보에 미리 가해진 하중의 크기를, 뒤의 숫자는 염수분무기간을 각각 나타내고 공히 각 시험체를 A, B 2개씩 제작하였다.

2.3 철근 부식도 실험

200톤 만능시험기를 이용하여 휨파괴 시험한 다음 철근을 추출하여 철근의 부식면적을 측정하는 방법으로, 1mm 간격의 눈금이 표시된 투명 셀로판지를 이용하여 철근의 부식면적을 도시하고, 이의 면적을 구하여 전체 면적에 대한 비율로 표시하였다.

$$\text{부식면적율(\%)} = (n/N) \times 100$$

여기서, n = 부식면적의 결점수
N = 전체면적

3. 실험결과 및 고찰

3.1 부식량

Fig. 3은 각각 5개월과 10개월의 염수분무시험후의 시험체 내 철근의 부식 정도를 나타내며 각 시험체 내 철근의 부식량은 Table 2에 나타낸다. 초기 5개월의 염수분무 시험에 의한 철근의 부식은 거의 없었으며, 10개월의 염수분무시험 후에는 30%하중을 가한 시험체는 3.3%, 60%하중을 가한 시험체는 9.92%로 부식이 진행되었음을 알 수 있다. 하지만 초기균열이 없었던 건전한보는 부식이 일어나지 않은 것으로 보아 미리 가해진 하중에 의해 균열이 일어난 부위에서만 부식이 집중적으로 일어났음을 알 수 있었다.



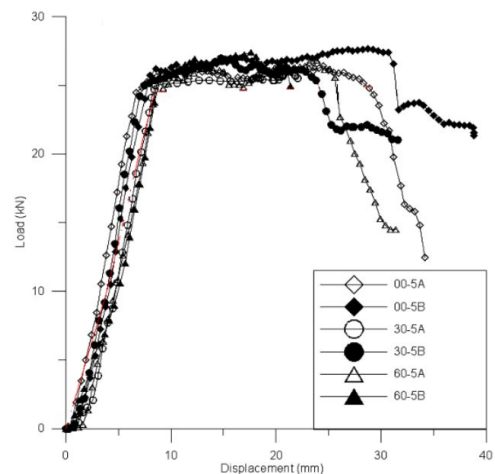
[Fig. 3] Status of steel corrosion after 5 and 10 months

[Table 2] Degree of steel corrosion

Specimen	Corrosion	Specimen	Corrosion
30-5A	-	30-10A	3.89%
30-5B	0.05%	30-10B	2.70%
60-5A	0.39%	60-10A	12.27%
60-5B	0.11%	60-10B	7.56%
00-5A	-	00-10A	-
00-5B	-	00-10B	-

3.2 하중-변위 곡선

Fig. 4와 Table 3은 염수분무시험 5개월 후에 실시한 3점휨시험에서 얻은 하중-처짐곡선과 항복점 및 파괴점에서의 하중과 변위값을 각각 나타낸다. 각 시험체가 조급씩의 차이는 있으나 재령 5개월에서는 항복점이 거의 같으며 내하력 저하는 크게 나타나지 않았음을 알 수 있다.



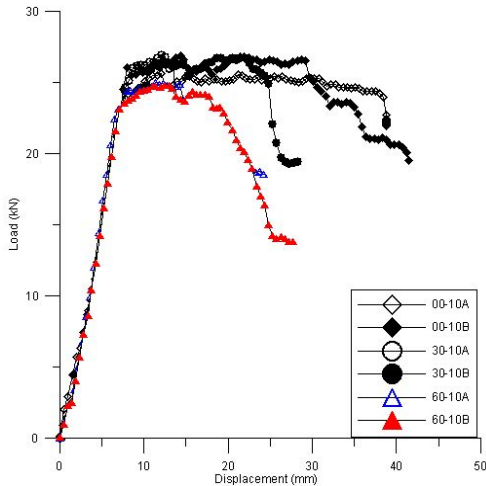
[Fig. 4] Load-deflection curves (5 months)

[Table 3] Measured data at yield and maximum load (5 months)

Specimen	Py	Δy	Pu	Δu	Δu/Δy
00-5A	24.46	6.72	25.9	24.5	3.65
00-5B	26.20	8.57	27.36	30.64	3.58
30-5A	24.97	8.49	25.78	20.74	2.44
30-5B	25.00	7.48	26.14	22.37	2.99
60-5A	25.43	8.79	26.79	23.89	2.72
60-5B	25.49	8.05	26.50	20.96	2.60

Fig. 5와 Table 4는 염수분무시험 10개월 후에 실시한 각 시험체의 3점휨 시험결과를 나타내며 60%하중 균열

이 발생한 시험체의 평균 최대하중은 24.6 kN 으로 건전한 시험체의 평균 최대하중인 26.0 kN에 비해 약 5.4% 저하되었다. 이와같은 휨내하력 저하는 부식에 의한 부착강도 저하 및 철근의 단면감소가 원인으로 판단된다. 그리고 부식이 진행되지 않은 건전한 보는 평균 연성도가 3.7인 것에 비해 60% 하중 균열이 발생한 시험체의 평균 연성도는 2.1로 약 43%가 저하된 것으로 나타났다. Table 3에서 연성도의 산정시 Δu 는 극한모멘트에 대응하는 처짐값으로 실험에서는 최대하중시의 처짐값을 사용하였다. 이와같은 연성도 저하는 부식에 의한 철근과 콘크리트의 부착력 저하에 따른 것으로 추정된 것으로 판단된다[7,8].



[Fig. 5] Load-deflection curves (10 months)

[Table 4] Measured data at yield and maximum load (10 months)

specimen	P_y	Δy	P_u	Δu	$\Delta u/\Delta y$
00-10A	24.31	7.76	25.32	29.85	3.85
00-10B	26.04	8.04	26.61	28.69	3.57
30-10A	26.10	8.22	26.12	23.48	2.86
30-10B	24.52	9.40	26.74	21.97	2.34
60-10A	23.14	6.99	24.85	14.22	2.03
60-10B	23.13	7.13	24.39	15.77	2.21

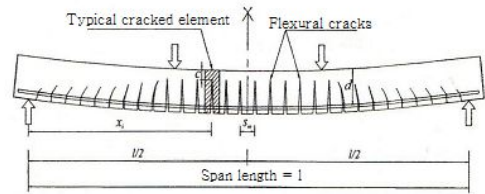
4. 해석

4.1 해석적모델

실험값과와의 비교를 위하여 기존의 Maaddawy 등의

해석적모델을 MS office Excel의 연산기능을 이용하여 본 연구에 사용된 시험체를 대상으로 해석하였다. 연구에 사용된 해석적모델은 철근콘크리트 보의 휨 거동에 있어서 철근의 부식으로 인한 부착강도의 감소효과를 고려하고 있다[9].

사용된 해석적모델에서 철근콘크리트 보의 휨은 휨 균열사이의 철근이 늘어난 길이를 이용하여 계산한다. Fig. 6에서와 같이 보는 평균적인 균열 간격과 길이의 요소들로 나타내어지며 각 요소들은 그 길이에 따라 일정한 휨모멘트의 지배를 받는다고 가정한다. 요소들은 보의 중앙에서 발생한 모멘트가 균열 모멘트를 초과 하였을 때 초기균열이 발생한다고 가정하며, 균열 발생 후, 철근에서 최대 인장응력은 요소중앙에서 작용한다. 요소 중앙과 지간 사이의 인장력 일부는 철근과 콘크리트 사이의 부착응력에 의해 콘크리트가 부담하게 되고, 이것은 각 요소 내에서 철근의 변형과 늘음 길이를 감소시켜 보의 휨이 줄어들게 된다.



[Fig. 6] Theoretical modeling of the specimen [9]

요소 i 의 양끝 사이에서 철근의 늘음 길이는 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$e_i = \epsilon_{st} s_m \quad (1)$$

휨 균열 후 중립축의 깊이는 요소 내에서 변화한다. 그러나 모멘트가 증가함에 따라 철근과 콘크리트사이에서 슬립이 감소하고 중립축 깊이는 균열부 깊이에 접근할 것이다. 요소 길이에 따른 중립축의 깊이가 균열 단면에서 변화하지 않는다는 것을 가정하여, 중앙경간의 처짐은 아래의 식에 의해 구할 수 있다.

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{d-c} x_i \quad (2)$$

4.2 요소내의 철근 늘음 길이

우선 부착응력의 분포는 각 요소의 양끝 사이에서 중심까지 한 균열 요소 내에서 균등하다고 가정한다. 따라서 균열간 요소의 중앙으로부터 $x \leq s_m/2$ 떨어진 구간의 어떤 점에서 지름이 d_b 이고 부착응력이 τ 인 철근의 응력은 다음과 같다.

$$f_s = f_{\max} - \frac{4\tau}{d_b}(x) \quad (3)$$

그리고, 균열 요소 내의 항복이전 단계 e_e 에서 철근 늘음 길이는 다음과 같다.

$$e_e = \frac{2}{E_s} \int_0^{\frac{s_m}{2}} f_s dx \quad (4)$$

식 (3), (4) 을 조합하면, 항복이전 단계 e_e 에서 철근 늘음 길이는 다음과 같아진다.

$$e_e = \frac{s_m}{E_s} \left(f_{\max} - \frac{\tau s_m}{d_b} \right) \quad (5)$$

철근이 항복한 후에, 철근 늘음의 상한계는 균열에서 철근 변형률(요소 내의 최대 철근 변형률)과 각 요소 길이를 곱함으로써 식(6)과 같이 계산할 수 있다. 그리고, 항복 후의 단계에서 철근 늘음의 하한계는 식(7)과 같이 항복할 때의 탄성 철근의 늘음량과 같다.

$$e_{pmax} = \frac{s_m}{E_s} (f_y) + \frac{s_m}{E_{sp}} (f_{\max} - f_y) \quad (6)$$

$$e_{ey} = \frac{s_m}{E_s} \left(f_y - \frac{\tau s_m}{d_b} \right) \quad (7)$$

식 (6), (7) 을 조합하면, 항복이후 철근 늘음 길이를 다음 식을 통해 구할 수 있다.

$$e_p = \underbrace{\frac{s_m}{E_s} \left(f_y - \frac{\tau s_m}{d_b} \right)}_{e_{ey}} + \underbrace{\frac{s_m}{E_{sp}} (f_{\max} - f_y)}_{e_{mc}} \quad (8)$$

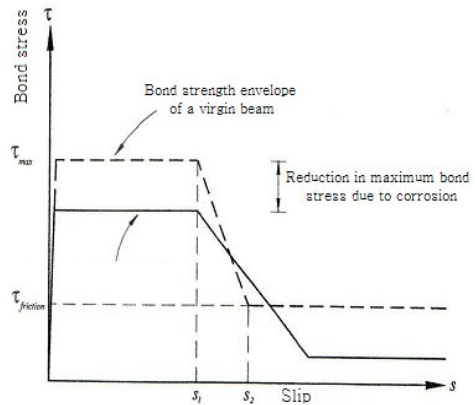
식(5)와 (8)을 합하여, 항복 전과 항복 후 각 단계의 요소 i 내의 철근 늘음 길이 e_i 를 구할 수 있다.

$$e_i = \begin{cases} \frac{s_m}{E_s} \left(f_{\max} - \frac{\tau s_m}{d_b} \right) & \text{항복전} \\ \frac{s_m}{E_s} \left(f_y - \frac{\tau s_m}{d_b} \right) + \frac{s_m}{E_{sp}} (f_{\max} - f_y) & \text{항복후} \end{cases} \quad (9)$$

4.3 해석에 사용된 부착-슬립 모델

요소의 외부모멘트 M_{ext} 가 균열 모멘트 M_{cr} 보다 작을 때 철근과 콘크리트는 같은 변형을 가진다. 즉, 슬립은 0이고 어떠한 부착응력도 발생되지 않는다. 하지만 휨 균열이 일어난 후에, 두 개의 인접한 휨 균열의 중앙부분에서(즉, 균열요소길이의 반)의 변위 e_s 와 콘크리트의 변위 e_c 는 중앙점에서 서로 다르다. 철근과 콘크리트 사이의 슬립 s 는 상대 변위 $e_s - e_c$ 와 같다. 안정된 균열 상태에서, 균열 요소의 길이 절반내의 평균적인 콘크리트 변형률은 콘크리트 균열 변형률 ϵ_r 을 초과하지 않을 것이다. 따라서 균열요소의 길이 절반내의 철근의 늘음길이는 콘크리트 균열 변형률과 평균 균열거리 반의 곱인 $1/2 s_m \epsilon_r$ 과 같다고 가정할 수 있다. 따라서, 균열 요소의 길이 i 의 절반 내에서 철근 늘음 길이는 $1/2 e_i$ 와 같기 때문에, 요소의 길이 i 의 절반 내에서 철근과 콘크리트 사이의 슬립은 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_i = \frac{1}{2} (e_i - s_m \epsilon_r) \quad (10)$$



[Fig. 7] Bond stress-slip model[9]

계산에 사용된 부착-슬립 모델은 Fig. 7에 도시하였다. 이 모델은 단조 증가 하중에 대한 CEB-FIP Model Code에 기초하지만 최대부착응력 τ_{max} 는 부식의 영향을 고려하여 수정하였다. 부착-슬립 곡선의 상승 부분 경사는 새로운 균열이 형성됨에 따라 요소의 끝에서 철근의 응력 값이 발생하는 것으로 추정하여 계산할 수 있다. 즉, 요소 끝에서 철근의 응력 f_s 는 $n_r f_r$ 과 같다. 이때 n_r 은 콘크리트에 대한 철근 탄성계수를 말하며, f_r 은 콘크리트의 파괴계수를 나타낸다. 최대 부착 응력 τ_{max} 가 다음 단면에서 기술되는 것처럼 최대 부착 응력 τ_{max} 는 단면 특성과 부식의 정도에 기초를 두어 계산된다. 부착 응력-미끄러짐의 관계를 정의하기 위하여 사용된 다른 모든 매개변수들은 CEB-FIP Model Code에 의해 권고된 값을 취하였다. 이 매개변수들은 Table 5에 나타내었다.

$$\tau = \begin{cases} \frac{d_b}{2s_m}(f_{max} - n_r f_r) & \text{if } \tau \leq \tau_{max} \\ \tau_{max} & \text{if } s \leq s_1 \\ \tau_{max} - (\tau_{max} - \tau_{friction}) \left(\frac{s - s_1}{s_2 - s_1} \right) & \text{if } s_1 \leq s \leq s_2 \\ \tau_{friction} & \text{if } s \geq s_2 \end{cases} \quad (11)$$

[Table 5] Parameters for bond stress-slip relationship

Parameter	Unconfined concrete		Confined concrete	
	Good bond conditions	All other bond conditions	Good bond conditions	All other bond conditions
s_1	0.6mm	0.6mm	3.0mm	3.0mm
s_2	1.0mm	2.5mm	Clear rib spacing	Clear rib spacing
$\tau_{friction}$	$0.15\tau_{max}$	$0.15\tau_{max}$	$0.4\tau_{max}$	$0.4\tau_{max}$

부식된 보와 부식되지 않은 보에서의 최대부착응력은 실험결과를 토대로 유도한 식(12)와 식(13)을 이용하였다. Kemp와 Wilhelm[10]은 보의 부식되지 않은 부분의 최대부착응력 τ_{max} 를 콘크리트와 스테럽의 기여도로 구분하여 유도하고 있음을 알 수 있다.

$$\tau_{maxv} = \underbrace{\left(0.55 + 0.24 \frac{c_c}{d_b} \right) \sqrt{f'_c}}_{\tau_{conc}} + 0.191 \underbrace{\frac{A_s f_{yt}}{s_s d_b}}_{\tau_{st}} \quad (12)$$

Saifullah와 Clark[11]는 부식된 철근의 부착 강도에 대한 변화를 예측하기 위하여 실험을 수행하고 부식균열 전에 부착에서의 초기증가와 부식 m_t 로 인한 철근 질량 손실비율이 증가함에 따른 부착 감소 인자 R 을 제안하였다. 일반적으로, 부착 강도에서 스테럽의 기여도는 휨 철근에서 야기된 부식 단계의 영향을 받지 않는다. 즉 스테럽이 부식되지 않는다면 부착 강도에 대한 스테럽의 기여도가 휨 철근의 부식에 영향을 받지 않음을 의미한다. 그러므로 보의 부식된 부분의 최대부착응력 τ_{max} 를 다음 식(13)과 같이 나타내었다.

$$\tau_{maxc} = \frac{(A_1 + A_2 m_t)}{R} \left(\underbrace{0.55 + 0.24 \frac{c_c}{d_b}}_{\tau_{conc}} \sqrt{f'_c} + 0.191 \underbrace{\frac{A_s f_{yt}}{s_s d_b}}_{\tau_{st}} \right) \quad (13)$$

한편, 균열간격의 산정은 CEB-FIP Model Code에 의해 제안된 식(14)를 사용하였다.

$$s_m = 2 \left(C + \frac{s_b}{10} \right) + k_1 k_2 \frac{d_b}{\rho_{ef}} \quad (14)$$

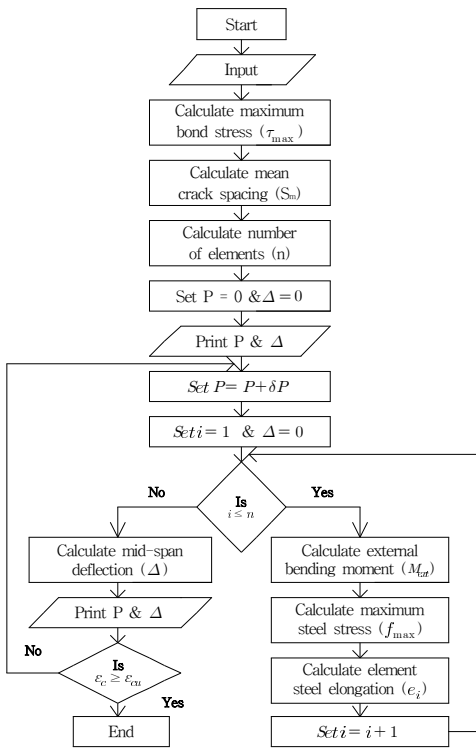
$$\rho_{ef} = A_s / A_{cef} \quad (15)$$

$$k_1 = \begin{cases} 0.4 & \text{이형철근} \\ 0.8 & \text{일반철근} \end{cases} \quad (16)$$

$$k_2 = 0.25 \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2\epsilon_2} \quad (17)$$

4.4 수치해석 알고리즘

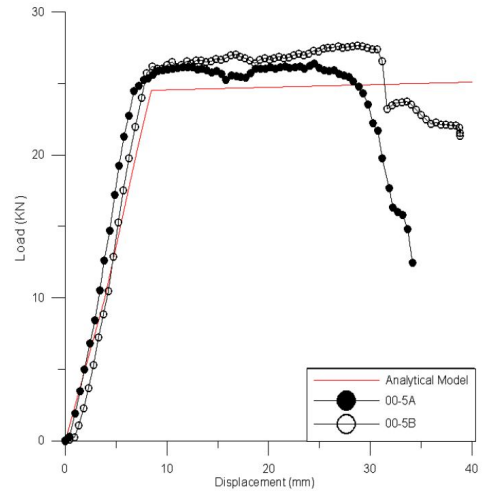
요소의 중앙에 철근 응력을 계산할 때 3가지를 기본적으로 가정한다. 첫째, 축 방향 변형은 횡단면으로만 일어난다. 둘째, 변형률은 보의 너비방향에 대하여 균등하다. 셋째, 변형률은 보의 깊이에 대하여 선형적으로 변화한다. 하중-변위 곡선을 예측하기 위한 해석 절차를 정리하면 Fig. 8에 도시한 알고리즘으로 나타내어진다.



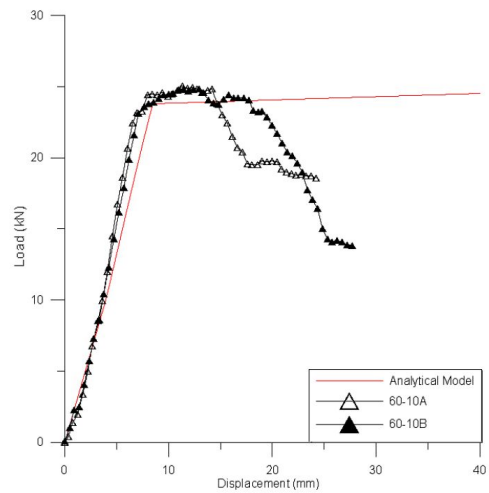
[Fig. 8] Analytical calculation procedure

5. 해석결과 및 분석

Fig. 9와 Fig. 10에 각각 부식전,후의 실험값과 이론값의 비교를 도시하였다. 부식후의 경우 부식된 시험체로는 실험결과 약 10%의 철근부식이 발생한 60-10A,B 시험체를 비교대상으로 하였으며 해석적모델 역시 10%의 부식을 가정하여 계산하였다. 그래프에서 알 수 있듯이 해석적모델에 의해 예측된 하중-변위 곡선이 실험으로부터 구한 곡선과 거의 일치한다는 것을 알 수 있었다. 실험적 결과와 예측된 결과 사이의 편차는 해석에서 사용된 철근의 항복강도값과 콘크리트의 파괴변형률(0.003)의 실제값과의 편차에 기인하는 것으로 판단되며, 대체로 모델이 항복 이전과 항복 이후 단계에서 부식전과 부식후의 철근콘크리트 보의 휨 거동에 대한 합리적인 예측을 제공한다는 것을 알 수 있었다.



[Fig. 9] Comparison of load-deflection curves



[Fig. 10] Comparison of load-deflection curves

6. 결론

본 연구를 근거로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 초기 재하 하중크기에 상관없이 5개월 부식실험에 의한 부식은 거의 없었으며, 10개월의 부식실험후에는 30%의 하중을 가한 실험체는 3.3%, 60%의 하중을 가한 실험체는 9.9%의 부식율을 보였다. 10개월후 60%의 하중을 가한 실험체의 경우 부식에 의

해 약 5.4%의 강도 저하를 가져와 철근이 부식된 RC휨부재의 휨 내하력 감소는 부식에 따른 철근과 콘크리트의 부착력저하 및 철근단면감소가 휨내하력 저하에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

- 2) 상당한 부식이 발생한 재령 10개월 시험체의 균열이 없는 기준시험체의 연성도가 약 3.70인데 비하여 철근의 부식량이 가장 많았던 60%하중균열에 발생한 실험체는 연성도가 2.1로 약 43%정도 연성도가 저하되었다. 이상의 결과로부터 철근부식에 따른 휨과괴 거동은 최대하중보다 연성도에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.
- 3) 해석적 연구결과 최대하중의 경우에는 실험결과와 비교적 잘 일치하였으나 파괴시의 변위, 즉, 연성도의 경우에는 실험결과와 매우 큰 차이를 나타내었다. 본 연구에 사용된 Maaddawy등의 해석적 모델은 철근부식의 영향을 고려하고 있으며, 실험결과와 비교적 일치하고 있는 것으로 나타나 철근의 부식을 고려한 RC휨부재의 파괴 거동을 예측하는데 유용하게 사용 될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] Jee-Sang Kim, Sang-Hwa Jung, Joo-Hyung Kim, Kwang-Myong Lee and Su-Ho Bae, "Probability-Based Durability Analysis of Concrete Structures under Chloride Attack Environments", Journal of Korea Concrete Institute, Vol.18, No.2, pp.239~248, April 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2006.18.2.239>
- [2] Woo-Young Jung, Min-Ho Kwon and Mii-Kyoung Ahn, "Structural Behavior of Compressive and Flexural Members Due to Corroded Reinforcing Bars and Different Bonding Interfaces", Journal of the Korea Society of Hazard Mitigation Vol.11, No.5, pp.33-39, October 2011.
- [3] Seung-Kyu Yang, Tai-Sun Um, Jong-Ryul Lee, Kazuo Yamada and Katsuya Kono, "Study on the Properties of Steel Corrosion in Concrete", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.18, No.1-2, pp.493-496, May 2006.
- [4] Ho-Jin Kim, Ho-Jin Jo, Ha-Won Song and Keun-Joo Byun, "Prediction of Steel Corrosion and Corrosion Cracking in Reinforced Concrete Structures", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.15, No.1, pp.657-662, May 2003.
- [5] Young-Suk Chae, Il-Yoon Choi and In-Ki Min, "An Experimental Study on Steel Bar Corrosion of Reinforced Concrete Structure", Journal of the Korea Society of Safety, Vol.28, No.6, pp.29-35, October 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14346/JKOSOS.2013.28.6.029>
- [6] Byung-Hwan Oh, Ki-Hyun Kim, Seung-Yeop Jang, Yi-Rong Jiang and Bong-Seok Jang, "Cracking Behavior of Reinforced Concrete Structures due to Reinforcing Steel Corrosion", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.14, No.6, pp.851-863, December 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2002.14.6.851>
- [7] Pritpal S. Mangat and Mahmoud S. Elgarf, "Flexural Strength of Concrete Beams with Corroding Reinforcement", ACI Structural Journal, No.96-S17, pp. 149-158, January-February 1999.
- [8] Young-Wong Kwon, Bong-Seob Choi and Yong-Sik Chung, "Slip Characteristics of Reinforced Concrete Beams to Corroded Steel State", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.11, No.6, pp.129-135, December 1999.
- [9] Tamer El Maaddawy, Khaled Soudki and Timothy Topper, "Analytical Model to Predict Nonlinear Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams", ACI Structural Journal, No.102-S56, pp. 550-559, July-August 2005.
- [10] E. L. Kemp and L. J. Wilhelm, "Investigation of the Parameters Influencing Bond Cracking," ACI JOURNAL, proceedings V. 76, No. 1, pp. 47-71, Jan. 1979,
- [11] M. Saifullah and L. A. Clark, "Effect of Corrosion Rate on the Bond Strength of Corroded Reinforcement," Seventh International conference on Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete, R. N. Swamy, ed., Sheffield Academic Press., Sheffield, pp. 591-602.
- [12] Comite Euro-International du Beton (CEB), "CEB-FIP Model Code-Design Code," Thomas Telford, London, UK, 1991.

어 석 홍(Seok-hong Eo)

[정회원]



- 1987년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과 (공학석사)
- 1991년 8월 : 한국과학기술원 토목공학과 (공학박사)
- 1992년 3월 ~ 1993년 2월 : 미국 일리노이대학교 토목공학과 Post-Doc.
- 1993년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

콘크리트구조, 장기거동 및 성능평가

이 창 현(Chang-Hyun Lee)

[준회원]



- 2013년 2월 : 창원대학교 토목공학과 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 일반대학원 (석사과정)

<관심분야>

콘크리트구조

이 상 준(Sang-Jun Lee)

[정회원]



- 2010년 2월 : 창원대학교 일반대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 신승 E&C 과장

<관심분야>

콘크리트구조