

변위연성도 기반 원형철근콘크리트 교각의 내진성능 평가

Displacement Ductility Based Seismic Performance Evaluation of Circular RC Bridge Piers

박창규* 이대형** 윤상철*** 정영수****
Park, Chang Kyu Lee, Dae Hyoung Yun, Sang Chul Chung, Young Soo

ABSTRACT

Korea is considered to be immune from the earthquake hazard because it is located far away from the active fault. However, recent earthquake caused a loss of lives and economical loss worldwide. Hence there has been raised an importance of the earthquake resistant design for various infrastructures. In this research, the seismic design and evaluation criterion for RC bridge pier were proposed from the experimental results of 82 circular RC bridge piers tested in domestic and aboard. New seismic criterion was introduced the limited ductile design provision suitable to Korean peninsula, which would be classified as a low or moderate seismic region. In addition, further important topic for the seismic safety of RC bridge piers in Korea is the seismic performance enhancement of RC bridge piers, which were designed and constructed before the 1992 seismic design provision. Therefore, the proposed seismic performance evaluation criterion could be very useful to judge seismic retrofit need or not according to the residual seismic performance of the RC bridge piers. Also, it could reduce an uncertainty for the safety of the infrastructure under earthquakes.

1. 서론

철근콘크리트 교각이 지진하중에 견딜 수 있도록 하는 내진설계 방법에는 구조물의 강성을 증가시켜 지진하중에 대한 저항능력을 증가시키는 방법과 구조물에 연성을 부여함으로써 지진에 의한 피해를 최소화하는 방법으로 구분되며 이중 후자인 연성능력을 증가시키는 방법을 현행 내진설계에서 사용하고 있다. 그 이유는 구조물의 사용연한 동안에 발생할 확률이 매우 적은 지진에 대하여 탄성한도에서 저항을 할 경우 매우 비경제적인 설계가 되기 때문에 현행 내진설계에서는 지진하중에 대하여 구조물의 항복은 허용하되 항복 후에 취성파괴가 아닌 연성파괴를 유도하기 위함이다. 따라서 철근콘크리트 교각의 내진성능은 변위연성도, 곡률연성도, 에너지 흡수능력 등

* 정회원 · 중앙대학교 건설환경연구소 공학박사
** 정회원 · 경북도립대학 토목과 조교수
*** 비회원 · 중앙대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정
**** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 교수

여러 가지 방안으로 표현되어지고 있으며, 주로 변위연성도에 의하여 평가 및 설계되어지고 있다. 정영수¹⁾는 지진을 경험한 형상비 2.5의 철근콘크리트 교각의 내진성능평가를 수행하였으며, 주철근 겹침이음이 있는 경우의 변위 및 곡률연성도가 주철근 겹침이음이 없는 경우보다 적게 나타났으며 이를 섬유보강시 변위 및 곡률 연성도가 현저히 증가한다고 보고하였다. 이재훈²⁾은 원형나선철근콘크리트 교각에 대한 실험연구로부터 현 도로교 설계기준의 심부구속철근 배근구간의 규정은 축력비가 0.2 이상인 경우에 비안전측의 설계가 될 수 있으므로 축력을 고려한 규정으로 수정 제안하였다. 박창규³⁾는 원형 철근콘크리트 교각에 대한 국내의 실험결과로부터 내진성능에 영향을 미치는 주요인자를 분석한 후, 현행 도로교 설계기준의 심부구속철근비 산정식에 축하중비와 주철근비를 포함하는 새로운 심부구속철근비 산정식을 제안하였다. 김태훈⁴⁾은 비선형 유한요소해석 기법을 이용하여 철근콘크리트 교각의 지진 손상도를 평가하였다. 이대형⁵⁾은 Macro 모델을 이용하여 섬유보강된 주철근이 겹침이음이 있는 철근콘크리트 교각의 내진성능을 평가하였다. 손혁수⁶⁾는 비선형 해석프로그램을 이용하여 다양한 상세에 따른 철근콘크리트 교각의 내진성능을 평가하였으며, 그 결과로부터 요구곡률연성도에 따른 심부구속철근비 산정식을 제안하였다. Wehbe 등⁷⁾은 중저진지역에서의 철근 콘크리트 기둥과 벽체의 철근상세 개발을 위한 한정연성 횡구속근을 갖는 직사각형 철근콘크리트 기둥의 거동 및 연성도를 평가하였다. 4개의 1/2 축소 교량 교각의 횡방향 철근비는 AASHTO에서 요구된 최소 횡방향 철근량의 46~60% 정도로 설계되었다. 실험은 10%~25% 범위의 일정한 축하중 하에서 준정적실험을 수행하였으며, 실험체의 변위연성도는 5.0~7.0의 범위로 조사되었다. 한편, 해석 및 실험결과에 기초하여 목표 변위연성도를 위한 횡구속 철근설계 방안을 제시하였다.

이상의 철근콘크리트 교각에 대한 많은 실험 및 해석 연구와 우리나라의 지진규모를 감안하면 현행 AASHTO 규정을 도입한 완전연성개념의 내진설계보다는 한정연성개념 설계법을 도입하는 것이 우리나라의 실정에 바람직하다고 할 수 있다. 또한 철근콘크리트 교각의 내진성능평가도 실험 및 해석에 의하여 이루어지고 있으나 모두 시간과 노력이 많이 필요로 하게 된다. 따라서 본 연구에서는 그 동안 이루어진 철근콘크리트 교각에 대한 국내외의 실험연구결과로부터 한정연성 설계법을 도입하기 위한 주철근 겹침이음이 없는 경우의 요구변위연성도에 따른 심부구속철근비 산정식과 간편하게 내진성능을 파악할 수 있는 내진성능평가식을 제안하였다.

2. 응답수정계수

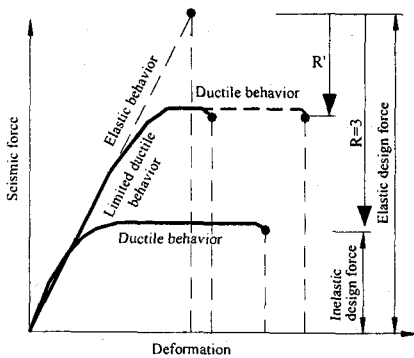
우리나라 도로교 설계기준 및 세계 각국의 내진설계 개념도 교각의 내진 설계시 충분한 연성을 확보하는 것을 목적으로 하고 있다. 그러나 어느 정도의 연성능력을 확보해야 하는지, 즉 요구연성기준은 각 설계기준마다 다르게 규정하고 있다. Eurocode 8 및 NZS3101에서는 요구곡률연성도로 규정하고 있으나 우리나라에서는 요구연성기준이 명시되어 있지 않다. 다만 지진시 교각의 탄성거동 보다는 소성거동을 유도하기 위하여 응답수정계수(단주 : 3, 다주 : 5)를 도입하여 소성설계를 하고 있다. 즉, 응답수정계수(R)는 탄성해석으로부터 얻은 탄성부재력을 수정하는데 사용되는 값으로서, 달리 표현하면 응답수정계수는 설계지진 발생시 구조물의 비탄성 거동을 유도하는 계수라 할 수 있다. 따라서 내진설계시 비탄성설계응답스펙트럼(Inelastic Design Response Spectrum)은 설계지진시 요구되는 탄성응답스펙트럼(Linear Elastic Design Response Spectrum)

을 응답수정계수(R)로 나누어 구하게 된다. 따라서 탄성설계응답스펙트럼보다 작은 비탄성설계응답스펙트럼을 이용해 밀면전단력을 산정하여 설계하게 되므로 구조물은 설계지진 작용시 비탄성 거동을 하게 된다. 이 밀면전단력 산정식은 기준들마다 다소 차이가 있지만 일반적으로 다음 식 (1)과 같이 정의될 수 있다. 식 (1)에서 C_s/R 이 비탄성설계응답스펙트럼이 되고, 만약 식 (1)에서 R로 나누지 않은 밀면전단력을 이용하여 구조물을 설계하게 되면 구조물은 설계지진하중 작용시 탄성거동을 하게 되는 것이다.

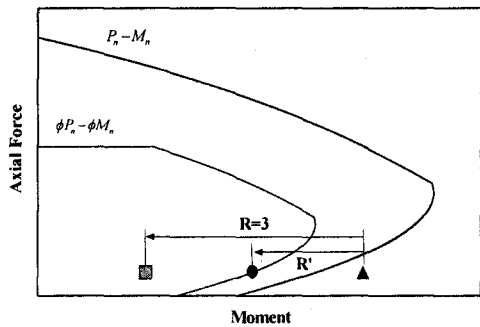
$$V = \frac{C_s W}{R} \quad (1)$$

여기서, V : 밀면전단력, C_s : 탄성응답스펙트럼, W : 구조물의 중량, R : 응답수정계수

그림 1과 같이 내진설계는 탄성응답스펙트럼에서 구한 지진하중을 응답수정계수로 나누어 소성설계를 하는 것인데 여기서 문제점이 발생하게 된다. 즉 그림 1(b)에 보이는 바와 같이 탄성응답스펙트럼에서 구한 지진하중(▲)을 현행 단주의 응답수정계수 3으로 나누어 구해진 설계지진하중에 의하여 부재에 발생하게 되는 모멘트(■)가 기본설계(사하중+차량하중 등)에 의해 설계된 부재가 보유하고 있는 ϕM_n (●)보다 매우 작은 경우에도 그림 1(a)와 같이 응답수정계수 3을 적용했을 시의 요구변위연성도를 똑같이 확보하도록 설계된다면 이는 필요이상의 과다한 연성능력을 확보하게 되므로 비경제적인 설계가 된다. 즉 경제적인 설계를 하려면 기본설계에 의한 단면이 내진설계시 소요되는 응답수정계수 (R')을 구하고 그 소요응답수정계수에 의한 연성능력을 보유하면 되는 것이다. 즉 중·저진 지역에 속하는 우리나라에서는 설계지진하중이 강진지역의 설계지진하중보다 작으므로 내진설계시 완전연성 개념보다는 소요되는 연성을 확보하는 것, 즉 한정연성개념을 도입하는 것이 바람직하다.



(a) 개념



(b) P-M 상관도에서의 적용

그림 1 응답수정계수의 개념과 적용

3. 요구연성도에 따른 심부구속철근비

원형단면 RC 교각의 국내외 실험연구 결과로부터 도출된 변위연성도 5에 적합하도록 제안된 심부구속철근비 산정식은 이전연구³⁾에서 다음 식 (2)와 같이 제안하였다.

$$\rho_s = 1.68 \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} + 1.85 (\rho_t - 0.01) \left(\frac{P}{f_{ck} A_g} \right)^{1.5} \quad (2)$$

요구변위연성도에 따라 소요 심부구속철근비를 달라지게 하기 위해서는 식 (2)의 1항과 2항의 계수가 변하여야 한다. 따라서 우선적으로 주철근비가 1%정도일 경우, 즉 2항이 "0"이 되는 경우의 요구변위연성도에 따른 식 (2)의 1항의 계수를 다음 그림 2과 같이 살펴보았다. 그림 2의 요구변위연성도 $\mu_{r,qd}$ 는 각각 3, 4, 6, 7로 하고 분석에 사용된 심부구속철근비 기준 $\rho_{r,qd}$ 는 식 (2)를 적용하였다. 그림 2(a)에 보이는 바와 같이 $\mu_{r,qd} = 3$ 인 경우는 모든 실험결과가 요구연성도를 만족함으로써 심부구속철근비를 줄여야 하며, 그림 2(d)의 $\mu_{r,qd} = 7$ 인 경우에는 많은 실험결과가 요구연성도에 만족하지 못하여 심부구속철근비를 증가시켜야 하는 것으로 나타났다. 따라서 각각의 요구연성도를 만족하기 위한 심부구속철근비 산정식 (2)에 대한 보정계수를 적용하여 구하였으며, 그 결과를 다음 표 1에 나타내었다. 분석결과 요구변위연성도가 3일 경우에는 식 (2)의 철근비의 50%만 필요한 것으로 나타났으며, 요구변위연성도가 7일 경우에는 식 (2)의 철근비의 1.5배에 해당하는 철근비가 필요한 것으로 나타났다.

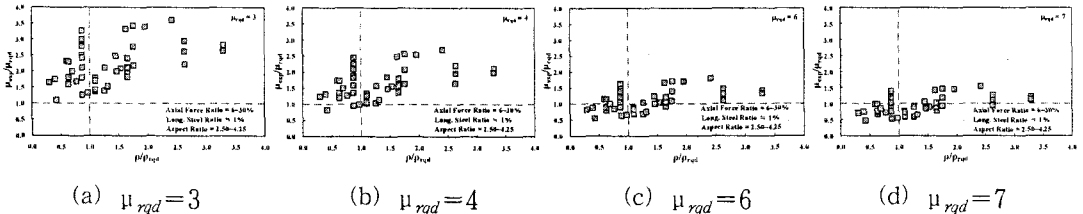


그림 2 요구연성도에 따른 식 (2)에 대한 실험결과 분석

표 1 요구연성도에 따른 식 (2)의 보정계수

Modification factor	Required displacement ductility				
	3	4	5	6	7
γ	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50

표 1의 보정계수를 적용하여 주철근비가 1%일 때 각각의 요구변위연성도에 따른 심부구속철근비 산정식을 식 (3)에서 식(6)에 나타내었으며, 이들 식에 따른 철근비를 요구심부구속철근비로 하고 각각의 요구연성도에 따른 실험변위연성도 비교 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 2와 그림 3을 비교해보면 요구변위연성도 3과 4는 실험결과가 2사분면에서 1사분면으로 이동되었으며, 요구변위연성도 6과 7은 1사분면과 4사분면에서 2사분면과 3사분면 방향으로 이동되어 전체적으로 1사분면과 3사분면에 실험결과가 모이는 바람직한 결과를 나타내었다.

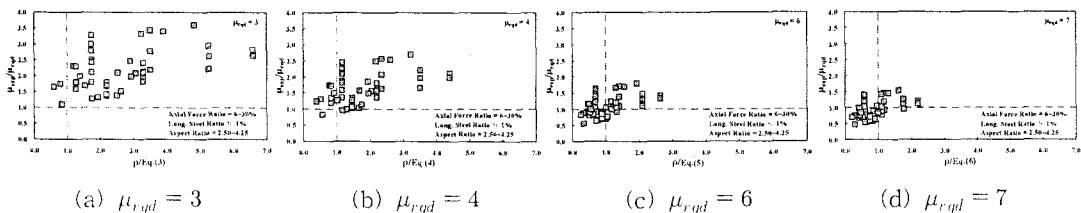


그림 3 요구연성도에 따른 식 (3)-(6)에 대한 실험결과 분석

$$\rho_{s,\mu=3} = 0.84 \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} \quad (3)$$

$$\rho_{s,\mu=4} = 1.26 \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} \quad (4)$$

$$\rho_{s,\mu=6} = 2.10 \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} \quad (5)$$

$$\rho_{s,\mu=7} = 2.52 \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} \quad (6)$$

다음은 다양한 요구변위연성도에 따른 주철근비의 영향, 즉 식 (2)의 2항의 변화를 고려해 보았다. 여기서 사용된 기준 심부구속철근비는 각각의 요구변위연성도에 따라 주철근비가 1%일 경우에 해당하는 식 (3)~(6)을 사용하였다. 각각의 요구변위연성도에 따른 다양한 축하중비와 주철근비를 갖는 실험결과를 분석하여 식 (3)~(6)의 보정계수를 구한 결과 모두 동일한 결과를 나타내었으며 그 결과를 표 2 및 그림 4에 나타내었다.

표 2 다양한 축하중비와 주철근비에 따른
식 (3)~(6)의 보정계수

축하중비		주철근비				
		1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%
보정 계수 (γ)	15%	-	-	-	-	1.366
	20%	-	0.929	1.099	1.299	-
	30%	-	0.420	1.114	1.893	-
	40%	-	-	1.289	-	-

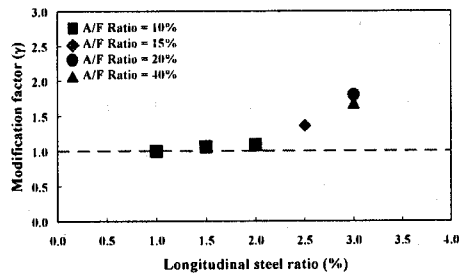


그림 4 다양한 축하중비와 주철근비에
따른 식 (3)~(6)의 보정계수

표 2의 결과에 따라 주철근비와 축하중비가 증가함에 따라 추가로 요구되는 심부구속철근비를 구한 결과 요구변위연성도가 증가함에 따라 식 (2)의 2항의 계수도 1항의 계수의 변화와 동일하게 표 1고 같이 증가하였다. 따라서 이상의 결과를 이용하여 다양한 요구연성도에 따른 심부구속철근비 식을 정리하면 다음 식 (7)~(11)과 같다.

$$\rho_{s,\mu=3} = 0.84 \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} + 0.93(\rho_\ell - 0.01) \left(\frac{P}{f_{ck} A_g} \right)^{1.5} \quad (7)$$

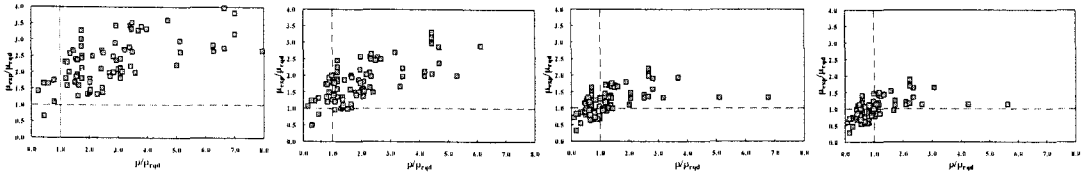
$$\rho_{s,\mu=4} = 1.26 \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} + 1.39(\rho_\ell - 0.01) \left(\frac{P}{f_{ck} A_g} \right)^{1.5} \quad (8)$$

$$\rho_{s,\mu=5} = 1.68 \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} + 1.85(\rho_\ell - 0.01) \left(\frac{P}{f_{ck} A_g} \right)^{1.5} \quad (9)$$

$$\rho_{s,\mu=6} = 2.10 \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} + 2.31(\rho_\ell - 0.01) \left(\frac{P}{f_{ck} A_g} \right)^{1.5} \quad (10)$$

$$\rho_{s,\mu=7} = 2.52 \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck} A_g} + 2.77(\rho_\ell - 0.01) \left(\frac{P}{f_{ck} A_g} \right)^{1.5} \quad (11)$$

요구변위연성도($\mu_{r,qd}$) 3, 4, 6, 그리고 7 경우의 심부구속철근비 식에 대한 실험체의 배근된 심부구속철근비와 각각의 요구연성도에 대한 실험변위연성도 비교결과를 그림 5에 나타내었다.



(a) $\mu_{r,qd}=3$, $\rho_{r,qd}$ = 식(7) (b) $\mu_{r,qd}=4$, $\rho_{r,qd}$ = 식(8) (c) $\mu_{r,qd}=6$, $\rho_{r,qd}$ = 식(10) (d) $\mu_{r,qd}=7$, $\rho_{r,qd}$ = 식(11)

그림 5 요구연성도에 따른 식 (7)~(11)에 대한 실험결과 분석

다음은 다양한 요구변위연성도에 따른 심부구속철근비 산정식 식 (7)~(11)을 일반화하여 요구연성도를 심부구속철근비 산정식의 변수로 넣고자 한다. 각각의 요구연성도에 따른 심부구속철근비의 계수를 요구연성도에 대한 함수로 표현하면 식 (7)~(11)은 다음 식 (12)와 같이 일반화 할 수 있다. 그러나 이전 연구³⁾에서 기술한 바와 같이 식 (12)는 실험결과의 평균값으로 유도된 것이므로, 요구연성도를 만족할 확률이 95% 이상이 되기 위하여 심부구속철근비를 할증하고자 한다. 그림 5 각각의 요구연성도에 대한 실험결과의 평균과 표준편차는 모두 0.961과 0.424로 나타났으며, 이를 사용하여 요구연성도를 만족할 확률이 95% 이상이 되기 위한 심부구속철근비는 식 (13)과 같이 식 (12)의 1.7배에 해당한다.

$$\rho_{s,mean} = (0.42\mu_{\Delta} - 0.42) \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck}A_g} + (0.46\mu_{\Delta} - 0.46)(\rho_t - 0.01) \left(\frac{P}{f_{ck}A_g} \right)^{1.5} \quad (12)$$

$$\rho_{s,95\%} = (0.71\mu_{\Delta} - 0.71) \frac{f_{ck}}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{ck}A_g} + (0.78\mu_{\Delta} - 0.78)(\rho_t - 0.01) \left(\frac{P}{f_{ck}A_g} \right)^{1.5} \quad (13)$$

4. 내진성능 평가식 제안

3장에서는 원형 철근콘크리트 교각의 요구연성도에 따른 소요심부구속철근비 산정식을 실험결과의 평균값으로부터 식 (12)와 같이 유도하였다. 따라서 이를 다시 정리하여 μ_{Δ} 로 표현하면 식 (14)가 되며 이 식은 원형 RC 교각의 내진성능 평가식이 된다. 식 (12)는 본 논문 서두에 기술한 바와 같이 소성힌지 구간내에 주철근 겹침이음이 없는 경우에 해당하는 심부구속철근비 산정식이다. 따라서 내진성능평가식 식 (14)도 주철근 겹침이음이 없는 교각에 대한 평가식으로 제한된다. 또한 시간이 지남에 따라서 콘크리트의 탄산화에 따른 강도감소나 피복콘크리트 균열 및 유실에 따른 총단면적 감소, 주철근 및 심부구속철근의 노출로 인한 부식으로 강도감소 및 철근단면적 감소가 발생할 수 있다. 따라서 식 (14)의 적용시에는 성능평가 시점에 보유하고 있는 물성치를 반영하는 것이 바람직하다. 식 (14)의 아래첨자 "r"은 성능평가 시점의 보유하고 있는 값을 의미한다.

$$\mu_{\Delta} = 1 + \frac{\rho_{s,r}}{0.42 \frac{f_{c,r}}{f_{yh,r}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{P}{f_{c,r}A_{g,r}} + 0.46(\rho_{t,r} - 0.01) \left(\frac{P}{f_{c,r}A_{g,r}} \right)^{1.5}} \quad (14)$$

여기서, $A_g / A_c \geq 1.2$

본 연구에서 분석한 실험체를 대상으로 하여 식 (14)를 이용하여 추정된 변위연성도와 실제 실험 결과에 따른 변위연성도를 그림 6에 비교하였다. 그림 6을 보면 식 (14)를 이용하여 구한 변위연성도가 실험변위연성도 보다 최대 1.97배(실험변위연성도 : 5.50, 해석변위연성도 : 10.87) 큰 경우도 있지만, 실험에 의한 변위연성도가 해석변위연성도보다 최대 2.83배 (실험변위연성도 : 11.1, 해석변위연성도 : 3.92) 큰 경우도 나타났다. 그러나 전체적으로는 평가식에 의한 변위연성도가 실험에 의한 변위연성도와 유사하거나 나오는 경향을 보이고 있다. 또한 그림 6의 결과를 통계분석 프로그램 SPSS 12.0를 이용하여 실험에 의한 변위연성도를 독립변수로 평가식에 의한 변위연성도를 종속변수로 선형회귀분석을 한 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 7에 보이는 바와 같이 제안식에 의해 추정된 값이 실험값보다 약간 작은 범위에 많은 결과들이 집중되어 있으며 실험값과 제안식 값의 상관도를 나타내는 결정계수(R^2)와 상관계수(R)이 각각 39.8%와 63.1%로 다소 낮게 나타났다. 이는 분석된 실험체들의 철근상세와 실험오차 등이 포함되어 나타난 결과라 판단된다.

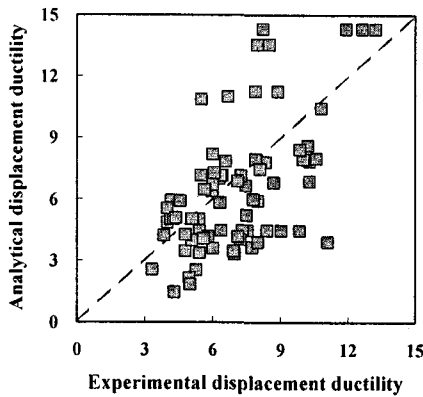


그림 6 실험결과와 식 (14)의 결과비교

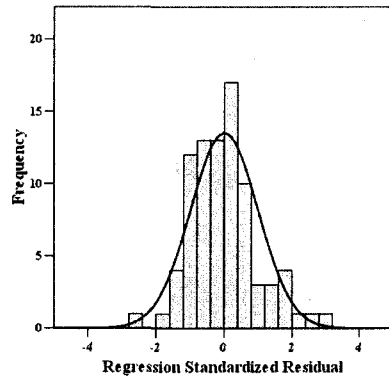


그림 7 선형회귀분석결과

5. 기존 RC 교각의 내진성능 결정

다음은 4장에서 제안한 내진성능 평가식의 기존 RC 교각에 대한 적용방법과 내진성능 결정과정을 기술하였다. 기존교각의 내진성능 판단은 그림 8의 탄성응답스펙트럼으로부터 결정되는 탄성지진력에 의해 교각에 발생하는 모멘트와 평가 될 교각이 보유하고 있는 보유강도를 구하는 것으로부터 시작된다. 즉 평가대상의 교각은 사용기간이 길어짐에 따라 열화가 발생하여 철근부식 뿐만 아니라 콘크리트의 강도도 감소하게 되어 보유강도가 설계당시의 강도보다 감소할 것이다. 따라서 교각이 현재 보유하고 있는 정확한 성능을 파악하여야 한다. 그 다음 단계는 요구연성도를 구하여야 한다. 즉 2장과 그림 1에서 나타낸 바와 같이 1단계에서 구한 기존교각이

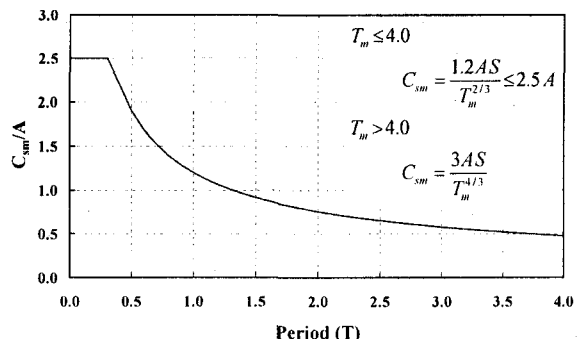


그림 8 설계응답스펙트럼

보유하고 있는 저항모멘트(M_2)와 탄성설계모멘트(M_1)로 부터 요구되는 응답수정계수($R_{r,qd}$)를 구한 후 그에 따른 요구연성도($\mu_{r,qd}$)를 구하게 된다. 마지막 단계로는 4장에서 제시한 평가식을 이용하여 교각이 보유하고 있는 내진성능(μ_R)을 파악한 후 요구변위연성도($\mu_{r,qd}$)와 비교한 후에 보수·보강을 결정해야 한다. 이상을 요약하면 다음과 같다.

1단계 : 탄성응답스펙트럼에 의한 설계지진하중 계산.

2단계 : 교각의 P-M 상관도에 의한 요구응답수정계수($R_{r,qd}$) 산정

3단계 : $R_{r,qd}$ 에 의한 요구변위연성도($\mu_{r,qd}$) 계산

4단계 : 제안식 식 (14)를 이용한 교각의 보유내진성능(μ_R) 판단

5단계 : 보수·보강 여부 결정

$\mu_R \geq \mu_{r,qd}$: 내진성능 만족, 보강 불필요.

$\mu_R < \mu_{r,qd}$: 내진성능 불만족, 보수·보강 필요.

5. 결 론

- 1) 우리나라와 같은 중저진지역에는 내진설계를 완전연성이 아닌 한정연성설계법을 도입하는 것이 바람직하다. 따라서 요구연성도에 따른 심부구속철근비 산정식을 제안하였다.
- 2) 1992년 내진설계가 도입되기 이전에 설계 및 시공되어 현재 공용중인 철근콘크리트 교각에 대하여 내진성능평가를 할 수 있는 내진성능평가식을 국내외 실험결과를 이용하여 제안하였다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행 한 2004년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호 : 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다

참고문헌

1. 정영수, 박창규, 이은희, “형상비 2.5 RC 교각의 내진 곡률연성도”, 한국지진공학회 논문집, 제8권 제3호, 2004, pp.1-11.
2. 이재훈, 배성용, 윤석구, “나선철근교각의 내진성능실험”, 대한토목학회논문집, 제21권 1A호, 2001, pp.109~121.
3. 박창규, “철근콘크리트 교각의 내진성능평가를 위한 심부구속철근비에 관한 연구”, 박사학위논문, 중앙대학교, 2005.
4. 김태훈, “비선형 유한요소해석을 이용한 철근콘크리트 교각의 내진성능평가”, 박사학위논문, 성균관대학교, 2002.
5. 이대형, 박창규, 정영수, “겹침이음 및 보강된 철근콘크리트 교각의 내진성능평가를 위한 Macro 모델”, 대한토목학회논문집, 25권, 5A호, 2005, pp.857~864.
6. 손혁수, “심부구속철근 요구량에 따른 철근콘크리트 교각의 내진설계방법에 관한 연구” 박사학위논문, 영남대학교, 2002.