

성능영향인자 변화에 따른 철근 콘크리트 기둥의 거동

The Behavior of RC Columns on the Variation of Performance Influencing Factor

윤성환* 최민철** 박대효***

Sung-Hwan Yun Minchoul Choi Taehyo Park

ABSTRACT

Performance evaluation exposing the performance of structure is affected by the material and structural characteristics. these should be necessary for the analysis about the effect of structure performance. Thus, to evaluate the structural performance affected the material properties and structural characteristics, firstly it is conducted the eigenvalues analysis and non-linear static analysis of the structure, secondly it is analyzed the performance influence factor of the structure.

The performance influence factors affecting the performance of structure divided into five classes(strength of concrete, longitudinal and transverse reinforcement, aspect ratio, axial force). From the result of analysis about the change of performance influence factor, the more the strength of concrete is increasing, the more the maximum shear force is increasing and the yield displacement is not changed, the more longitudinal reinforce is increasing, the more yield displacement and the maximum basis shear force is increasing, the more the transverse reinforce is increasing, the change of maximum basis shear force is trivial. The yield displacement of structure is increasing and the maximum basis shear force is decreasing by increasing the aspect ratio, the more the axial force increases, the more yield displacement and maximum basis shear force decrease.

요약

구조물의 성능을 나타내는 성능평가에 있어 구조물의 재료 및 구조적 특성이 구조물의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 고유치 해석과 비선형 정적해석을 수행하였다.

구조물의 성능에 영향을 주는 성능영향인자는 구조물의 재료적 특성과 관련하여 콘크리트 강도, 종방향 주철근, 횡구속 철근에 대하여, 구조적 특성과 관련하여 형상비, 축하중에 대하여 총 5가지로 정의하였다. 성능영향인자의 변화에 따른 분석 결과, 콘크리트 강도 증가에 따른 항복변위는 동일하지만 최대 기저전단력은 증가하였고 종방향 주철근 증가에 따른 항복변위와 최대 기저전단력은 모두 증가하였으며, 횡구속 철근 증가에 따른 항복변위와 최대 기저전단력의 변화량은 미비하였다. 형상비 증가에 따른 구조물의 항복변위는 증가하고, 최대 기저전단력은 감소하며, 축하중 증가에 따른 구조물의 항복변위와 최대 기저전단력은 감소하였다.

*정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

**정회원, 한양대학교 토목공학과 석사

***정회원, 한양대학교 토목공학과 부교수

1. 서론

성능기반설계(Performance-Based Design, 이하 PBD)라 함은 구조물에 발생 가능한 외부 위험도에 따라 규정되는 요구수준(Demand) 내에서 구조물의 손상수준이 규정된 한계상태를 초과하지 않고 예측 및 제어 가능한 보유능력(Capacity)을 가진 구조물을 설계하는 방법이다.

PBD를 수행하기 위해 외부 위험도에 따라 규정되는 요구수준은 구조물이 위치하게 될 지역과 지반 상황의 기존 기록 자료를 바탕으로 구조물 사용기간 동안 발생 가능한 외부 하중들에 의해 산정되고, 보유능력은 합리적이고 경제적인 설계를 위해 구조물의 비탄성 영역의 성능을 고려한 성능평가를 통해 결정된다. 기존자료 분석을 통해 결정되는 외부 하중이 일정하다고 가정하면 구조물의 보유능력을 정확하게 평가하기 위해서는 구조물의 재료 및 구조적 특성 변화에 따른 성능변화에 대한 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 구조물의 성능에 영향을 미치는 성능영향인자(Performance Influencing Parameter)를 분석하기 위해 재료적 특성인 콘크리트 강도, 종방향 철근, 그리고 횡구속 철근과 구조적 특성인 구조물의 길이, 축하중의 변화에 따른 고유치 해석(Eigenvalue Analysis)과 비선형 정적해석(Pushover Analysis)을 수행하여 구조물의 성능에 영향을 미치는 5가지 성능영향인자에 대해 비교·분석한다.

2. 해석 대상 및 기본사항

성능영향인자 분석을 위하여 그림 1과 같이 띠철근에 의해 횡구속된 정사각형 단면(RA, RB, RC)을 가지는 기둥과 띠철근 및 나선철근에 의해 횡구속된 원형단면(CH 및 CS)을 가지는 기둥에 대하여 비선형 정적·동적 유한요소 구조해석 프로그램인 ZeusNL(Elnashai *et al.*, 2001)을 사용하여 고유치 해석과 비선형 정적해석을 수행하였다. 원형단면의 크기는 축하중과 횡하중을 고려를 위하여 기둥 단면에 대한 단면 2차 모멘트를 구하여 한변의 길이가 300mm인 정방형 사각형단면의 단면 2차모멘트와 비슷한 단면 2차모멘트를 가지도록 직경을 340mm로 결정하였다. 표 1은 단면형태에 따른 콘크리트 강도(f_c), 축하중(P), 단면 길이(B, H), 기둥 길이(L), 종방향 주철근비(ρ_s), 종방향 주철근 강도(f_{st}), 횡구속 철근비(ρ_t), 그리고 횡구속 철근 강도(f_{st})에 대한 기둥의 기본 재원을 나타낸다.

표 1 기둥의 기본 재원

Type	RA	RB	RC	CH	CS
f_c (MPa)	30	30	30	30	30
P(kN)	1,150	1,150	1,150	1,150	1,150
B(mm)	300	300	300	340	340
H(mm)	300	300	300	-	-
L(mm)	2,100	2,100	2,100	2,100	2,100
ρ_s	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
f_{st} (MPa)	400	400	400	400	400
ρ_t	0.0175	0.0175	0.0175	0.0176	0.0176
f_{st} (MPa)	400	400	400	400	400

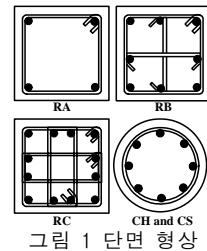


그림 1 단면 형상

항복변위는 횡하중에 의한 최대 기저전단력을 먼저 구한 다음 최대 기저전단력의 75%에 해당하는점과 원점을 연결하는 선을 그리고, 이 선과 최대 기저전단력이 교차하는 지점에 해당하는 변위이며(Park, R and Sampson, R.A., 1972), 극한변위는 횡철근 구속에 의한 연성이 큰 교각은 압축부 콘크리트가 극한변형률에 이르러도 급작스런 하중감소가 일어나지 않기 때문에 일반적으로 수평저항하중이 최대수평강도에서 일정비율로 감소했을 때의 변위로 정의한다. Priestly, M.J.N. and Park, R.은 실험적 연구에서 20%이상 감소하는 시점을 극한강도로 하였고 본 논문에서는 이때의 변위를 극한변위로 정하였다.

3. 성능영향인자 분석

콘크리트강도 변화가 구조물의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해서 콘크리트 강도를 20MPa에서 48MPa까지 4MPa간격으로 증가하는 8개의 조건에 대하여 각각의 단면형상과 크기에 따라 고유치 해석과 비선형 정적해석을 수행하였고, 종방향 주철근비는 각각 1.63%, 3.33%, 5.08%, 주철근 강도는 각각 350MPa, 400MPa, 450MPa인 총 9개의 조건에 대하여, 횡구속 철근의 경우는 강도는 일정하게 유지하고 횡구속 철근의 간격을 40mm에서 160mm까지 20mm간격으로 7개의 조건과 횡구속 철근이 없을 경우를 포함하여 총 8개의 조건에 대하여, 기둥의 길이를 단면의 길이에 대한 기둥의 길이비(L/B)인 형상비는 각각의 단면에 대하여 3에서 10까지의 길이가 되도록 하는 총 8개의 조건에 대하여, 축하중의 변화는 단면에 대한 공칭강도에 대하여 공칭강도의 약 10%~90%에 해당하는 9개의 축하중 조건에 대하여 각각 고유치해석과 비선형정적해석을 수행하였다. 5가지 성능영향인자들은 각각 타 성능영향인들의 변화에 따라 구조물의 성능에 미치는 영향을 비교하기 위하여 최소값과 최대값을 각각 0과 1이 되도록 정규화하여 표현하였다.

3.1 고유치 해석

성능영향인자의 정규화를 통한 구조물의 재료 및 구조적 특성과 관련한 성능영향인자의 변화에 따른 고유주기의 변화는 그림 2와 3에 각각 나타나 있다. 성능영향인자간의 비교를 위하여 각각의 성능영향인자들에 의한 영향은 선형의 관계를 갖는 것으로 규정하여 선형회귀분석을 실시하여 나타내었다.

콘크리트 강도 및 종방향 주철근비와 고유주기는 콘크리트 강도 및 종방향 주철근비가 증가할수록 강성의 증가로 인하여 고유주기가 짧아지는 0.1의 음의 기울기가 나타나고, 종방향 주철근 강도와 고유주기는 주철근강도와 구조물의 강성과의 관계는 무관하므로 주철근강도의 변화와 상관없이 0의 기울기를 가지며, 횡구속 철근 체적비와 고유주기는 0.2×10^{-3} 의 양의 기울기가 나타난다.

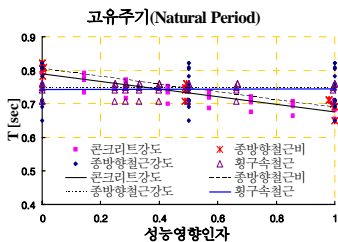


그림 2 성능영향인자와 고유주기와
의 관계(재료적 특성)

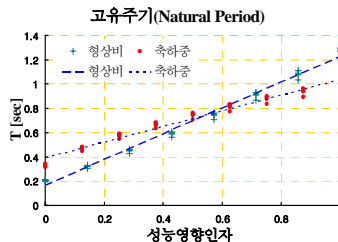


그림 3 성능영향인자와 고유주기와
의 관계(구조적 특성)

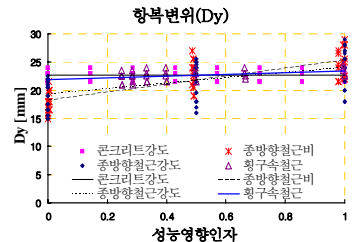


그림 4 성능영향인자와 항복변위와
의 관계(재료적 특성)

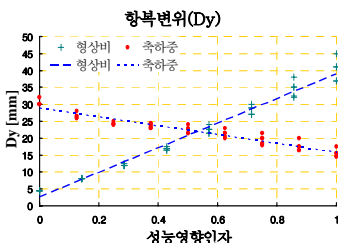


그림 5 성능영향인자와 항복변위와
의 관계(구조적 특성)

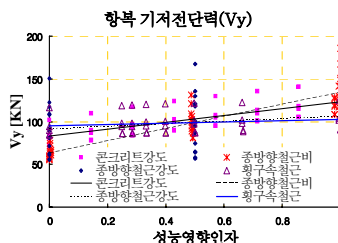


그림 6 성능영향인자와 항복 기저전
단력과의 관계(재료적 특성)

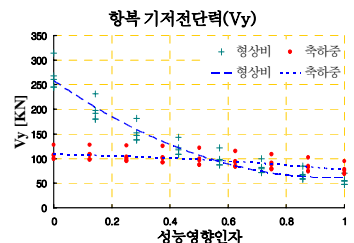


그림 7 성능영향인자와 항복 기저전
단력과의 관계(구조적 특성)

형상비와 고유주기는 형상비가 증가할수록 횡강성의 감소로 인하여 고유주기가 증가하는 1.1의 양의 기울기를 가지고, 축하중이 증가할수록 중력가속도의 영향을 고려하여 축하중이 치환된 상부질량이 구조물의 주기에 직접적인 영향을 주어 고유주기가 증가하는 0.6의 양의 기울기를 나타낸다.

3.2 비선형 정적해석(Pushover Analysis)

성능영향인자의 정규화를 통한 구조물의 재료 및 구조적 특성과 관련한 성능영향인자의 변화에 따른 항복변위의 변화는 그림 4와 5에 각각 나타나 있다. 콘크리트강도의 변화에 따른 항복변위는 0의 기울기를, 종방향 주철근비가 증가할수록 항복변위가 증가하는 7.1의 양의 기울기를, 종방향 주철근 강도가 증가함에 따라 항복변위는 증가하는 4.8의 양의 기울기를, 횡구속 철근량의 증가에 따라 항복변위가 증가하는 2.3의 양의 기울기를, 형상비의 증가에 따라 항복변위가 증가하는 36.4의 양의 기울기를, 축하중의 증가에 따라 횡하중에 의한 축하중의 영향이 증대되기 때문에 항복변위가 감소하는 13.1의 음의 기울기가 나타난다.

구조물의 재료 및 구조적특성과 관련한 성능영향인자의 변화에 따른 항복 기저전단력의 변화는 그림 6과 7에 각각 나타나 있다. 콘크리트강도와 항복 기저전단력은 콘크리트강도의 증가에 따라 항복 기저전단력이 증가하는 39.9의 양의 기울기를, 종방향 주철근비의 증가에 따라 항복 기저전단력이 증가하는 71.2의 양의 기울기를, 종방향 주철근 강도가 증가함에 따라 항복 기저전단력이 증가하는 14.8의 양의 기울기가 나타난다. 형상비와 항복 기저전단력의 관계는 형상비가 증가함에 따라 항복 기저전단력이 감소하고 형상비가 증가할수록 항복 기저전단력의 감소폭은 작아지는 것을 나타내고, 축하중과 항복 기저전단력은 축하중에 따른 항복 기저전단력은 기둥구조물의 공칭강도의 30%에 해당하는 축하중이 작용할 때까지는 거의 일정하지만, 30%이상의 축하중이 작용할 경우 항복 기저전단력은 감소하는 것을 나타내며, 전체적인 경향을 보면 축하중비가 증가함에 따라 항복 기저전단력이 감소한다. 축하중과 항복 기저전단력의 관계를 선형으로 가정할 경우 31.7의 음의 기울기가 나타난다.

4. 결 론

철근 콘크리트 구조물의 성능기반설계를 위해 성능영향인자인 콘크리트강도, 종방향 주철근, 횡구속 철근, 형상비, 축하중비의 변화에 따라 동적능력을 반영하는 고유치 해석과 비선형 정적해석을 통하여 성능영향인자들에 대한 구조물의 성능을 비교·분석하였다.

각각의 성능영향인자들의 변화에 따른 고유주기에 대한 영향은 구조적 특성과 관련하여 형상비의 영향이 가장 크게 나타났고, 축하중의 영향이 두 번째로 큰 것으로 나타났으며, 이는 재료적 특성에 비교하여 구조적 특성이 구조물에 더 큰 영향을 주는 것을 나타낸다. 비선형 정적해석을 통한 구조물에 대한 영향을 분석한 결과 구조특성과 관련한 형상비의 영향이 가장 크게 작용하였고, 축하중의 영향이 두 번째로 크게 작용하였으며, 종방향 주철근강도와 비교하여 종방향 주철근비가 구조물에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 산하의 한국건설교통기술평가원에서 후원하고 콘크리트코리아 연구단(05-CCT-D11)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분들에게 감사드립니다.

참고문헌

1. Elnashai, A.S., Papanikolaou, V. and Lee, D.H., "ZeusNL-A Program for Inelastic Dynamic Analysis of Structures", Mid-America Earthquake Center, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA, 2001.
2. Park, R. and Sampson, R.A., "Ductility of Reinforced Concrete Sections in Seismic Design," ACI Structural Journal, 1972, Vol.69, No.9, pp.543-551.
3. Priestley, M.J.N. and Park, R., "Strength and Ductility of Concrete Bridge Columns Under Seismic Loading", ACI Structural Journal, 1987, Vol.84, No.1, pp.61-76.