

강구조 건축물의 성능기반설계를 위한 성능규정치의 평가

Evaluation of Judging Structural Performance Based Design in Steel Structure

오 상 훈* · 오 영 석** · 홍 순 조***

Oh, Sang-Hoon · Oh, Young-Suk · Hong, Soon-Jo

요 약

본 연구에서는 건물의 규모, 용도 및 형식 등에 따라 다양하게 요구되는 성능에 대응할 수 있도록 하기 위한 성능설계에 대한 개념을 검증하고, 강구조 건축물의 특성을 고려한 성능레벨 및 성능한계에 대한 분류방법을 제안하였다. 또한 강구조 건축물의 경우 강도가 높고 경량인 특성에 의해 다른 구조형식에서는 크게 고려하지 않아도 되는 거주성능 및 진동특성을 제어하여 기능을 유지하기 위한 성능레벨을 설정하여 구조물이 항복하기 전의 성능레벨을 기능유지 및 무손상의 2단계로 제시하고, 이 때의 한계치를 기능한계 및 손상한계로 구분하였다. 강구조 건축물의 손상한계를 정의하기 위해 강구조 건축물의 설계 예를 이용하여 항복 층간변형각을 조사하였다. 그 결과 구조물의 손상발생을 억제할 수 있는 손상한계를 규정하기 위해 주로 사용하고 있는 층간변형각은 구조형식 및 설계방법에 따라 편차가 크게 나타나고 있으므로 손상 한계치의 층간변형각을 임의로 설정하는 것은 매우 어려우며 향후 이에 대한 해석적, 실험적 검증이 필요 할 것으로 판단되었다.

keywords : 성능기반설계, 형상 최적설계, 등기하 해석법, NURBS

1. 서 론

구조설계는 요구된 기능을 만족하는 구조물을 실현하는 행위라고 할 수 있다. 이러한 목표달성을 위하여 설계기준에 따라 수행하는 현행의 사양설계법 (specification based design) 또는 기준설계법(code based design)에서는 일반적으로 자신이 설계하려고 하는 구조물의 기능별 목표 성능에 대하여 구조설계자가 명확히 인식하지 않고 설계를 수행하는 경우가 많다. 즉, 설계하려는 구조물의 『안전성능』, 『사용성능』, 『내구성능』 등에 대하여 특별히 인식하지 않아도 정해진 설계법을 기계적으로 따라가면 요구된 성능을 만족시킬 수 있다고 생각하는 경우가 많다. 그러나 요구성능이 구체적이고 정량적이지 않으며, 설계기준에 제시된 규정에 따라 설계할 때 어느 정도의 성능수준을 보장할 수 있는가에 대하여 구체적으로 명시하고 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 건물별로 요구되는 성능수준에 따라 설계가 이루어지는 성능설계에 필요한 강구조 건축물의 성능레벨 및 성능한계의 분류법을 제시하고, 성능한계치를 구분하기 위한 성능 규정치에 대한 검토를 하고자 한다.

* 정회원 · 부산대학교 건축학부 교수 osh@pusan.ac.kr

** 정회원 · 대전대학교 건축학부 교수 ohys@dju.ac.kr

*** 정회원 · 대전대학교 건축학부 교수 sjhong@core.woosuk.ac.kr

2. 성능설계법의 개요 및 현황분석

2.1. 성능설계법의 개요

건축주와 설계자의 구조성능에 대한 공통된 이해를 위해 성능매트릭스(Performance Matrix)를 사용한다. 성능매트릭스는 아직 통일되어 있지 않지만 개념적으로 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 횡축은 하중외력레벨 즉 Input을 나타내고, 종축은 손상도에 의한 성능레벨 (Performance Level) 즉 Output을 나타낸다. 표에서 ○표로 나타낸 균을 표준 성능목표라고 하면, ◎표와 ☆와 같이 오른쪽으로 올라갈수록 높은 성능목표가 된다. 매트릭스의 크기가 클수록 성능레벨이 더욱 세분화되며, 크기가 작으면 성능평가 구분의 정밀도는 낮아진다. SEAOC Vision 2000에서는 4X4, SAC-FEMA에서는 2X3의 매트릭스로 제안하고 있다.

표 1 성능 매트릭스

Input \ Output		하중 외력 레벨			
		소	중	대	장
성 능 레 벨	소	●	◎	☆	◎
	중		●	◎	☆
	대			●	◎
	장				●

2.2. 강구조 건축물의 성능레벨 및 한계상태 분류의 제안

강구조 건축물의 특유의 구조적 특징을 고려하여 성능레벨을 표 2에 나타내었다. 성능레벨을 레벨1 “기능유지”, 레벨2 “무손상”, 레벨3 “복구가능”, 레벨4 “인명보호”의 4단계로 구성하고, 레벨5 “붕괴”를 추가하였다. “붕괴”는 사람이 사용하지 않는 건물 등 특별한 경우를 제외하고 일반적으로 허용되지 않는 레벨이다. 한계상태는 레벨1에서 4에 대하여 순서대로 기능한계, 손상한계, 복구한계, 안전한계가 된다.

본 연구에서는 기존의 제안과는 달리 “기능유지”와 “무손상”이 분리하였다. 이것은 강구조 건축물의 특징을 반영한 것이다. 즉 강구조물은 RC보다 경량화됨에 따라 강성이 부족하여 변형이 발생하기 쉽기 때문에 바닥 처짐 혹은 바람에 의한 진동문제 등이 발생하기 쉽고, 거주성·작업성·쾌적성 등의 일상적 기능의 유지를 별도 성능레벨로서 다루어야 할 필요가 있기 때문이다.

3. 성능에 따른 저항능력(R)과 하중효과(Q)의 평가법

설계자가 건물의 성능레벨을 실현시키기 위해서는 정량적인 방법(설계법, 수치)이 필요하며, 각 한계상태에 따른 저항능력(R)과 하중효과(Q)의 공학량 및 이들에 대한 평가법은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

(1) 기능한계

R과 Q의 공학량으로서 Q의 변형은 탄성구조해석으로부터 횡진동·바닥진동·진폭·주파수는 진동해석과 경험식을 이용하여 평가할 수 있다. R의 평가에서의 변형은 기준 등에서 제시되어 있는 허용처짐을 이용한다. SEAOC Vision 2000에서는 허용 최대 층간변형각을 1/500으로 정의하고 있다.

표 2 본 연구에서 제안하는 강구조 건축물의 성능레벨

성능레벨		평가대상별 피해상태					기타소견
		건물전체	구조체	비구조부재	부대설비	수용물	
레벨 1	기능유지 Functional	쾌적성과 거주성, 작업성이 유지되어 정상시의 생활과 작업이 가능	손상과 열화 발생하지 않음. 장애 초래하는 처짐은 발생하지 않음.	손상과 열화가 발생하지 않는다.	정상시대로 가동된다.	완전히 보호된다.	사용자에게 불편이 생기지 않는다. 무피해.
	(기능한계)						
레벨 2	무손상 Undamaged	경미한 손상 발생해도 기본성능은 유지되어, 정상시의 생활과 작업이 가능	국소적 항복 외에는 손상과 열화 발생하지 않음. 변형은 탄성범위이며 잔류변형 발생 않음.	작은 균열과 박리 발생하나 사용성에 큰 지장 없다. 경미한 손상은 사용자가 수선가능.	긴급정지가 발생할 수 있으나, 즉시 재개할 수 있다. 비상용 설비에 오작동은 발생하지 않음.	비품류의 이동과 낙하, 전도발생하나, 막대한 가치의 손실 생기지 않음. 위험물은 보호됨.	일시적으로 사용자가 불편을 느끼거나, 경제적 손실은 거의 없다. 즉시 사용가. (녹색 표시)
	(손상한계)						
레벨 3	복구가능 Repairable	명백한 손상 관찰되어 건물의 가치 감소되나, 기술적, 경제적으로 복구 가능하고, 재사용 가능.	변형은 탄성범위를 벗어나고, 항복과 좌굴, 파괴가 부분적으로 발생함. 구조의 잔내력 저하.	중정도 이상의 막대한 손상 입으나, 부분적 교체 포함한 복구 가능. 낙하물에 의한 큰 위험 없음.	많은 설비가 손상되거나 기능정지 상태 되나, 점검 정비 혹은 수리에 의해 회복된다.	수용물의 상당량이 이동과 낙하, 전도에 의해 손상 입으나, 귀중품과 위험물은 보호됨.	손상 발생한 상태에서 건물 사용 가능 판단을 위해서는 전문가의 지식 필요. (황색 표시)
	(복구한계)						
레벨 4	인명보호 Life Safe	막대한 손상 입으나, 건물 자립 가능. 바닥과 옥상의 붕괴 발생 않고 인명 보호됨.	막대한 손상 입어 항복, 좌굴, 파손이 광범위하게 발생하나, 연직하중 지지능력 유지.	막대한 손상 입으나, 치명적인 위험 없음. 피난로 장애 발생하나, 구조활동 가능.	비상용 시스템 가동되나, 그 외 많은 설비는 기능정지됨. 전도, 파괴 발생 않음.	상당한 물건이 막대한 피해 입게 되나, 위험물은 보호됨.	출입금지 (적색 표시)
	(안전한계)						
레벨 5	붕괴 Collapse	건물의 일부 혹은 전체가 붕괴되고, 인명이 직접 위험에 노출된다.	연직하중을 지지하는 능력이 거의 대부분 소실된다.	광범위한 파손, 탈락 발생. 피난로 장애 발생하여 탈출, 구조 곤란.	대부분의 설비가 정지되고, 상당량 전손 발생함.	상당량의 물건 전손됨. 위험물 유출 확산될 우려 있음.	특수한 경우 제외하고 사회적으로 허용되지 않음.

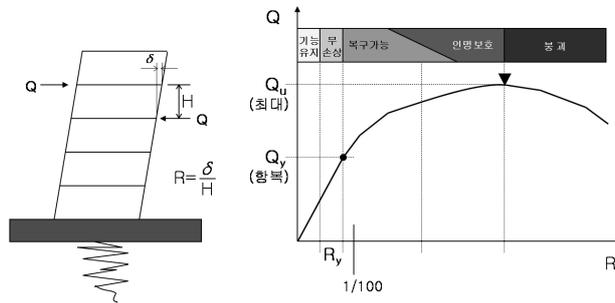


그림 1 하중-변형관계와 성능레벨의 관계

(2) 손상한계

어떤 하중상태도 R과 Q의 공학량은 응력도와 단면력이다. Q는 탄성구조해석으로 평가되며, R의 평가에는 미끄럼, 항복, 좌굴응력도(내력)이 이용된다. 한계내력 계산법은 층간변형각 1/200이하를 규정하고 있고, 성능설계법에서도 한계치로서 변형(각)이 정의되어 있다(1/200~1/100). 표 3은 임의로 선택한 골조의 항복변형을 구한 것이다. 케이스 1, 2는 브레이스의 유무에 의한 것이나, 항복 시의 층간변형은 1/180과 1/133으로 차이가 있다. 또한 케이스3~5에서도 변형각은 1/122에서 1/173으로 차가 있다. 따라서 손상한계를 항복 변형각을 이용한다면 일정한 값으로 결정하는 것은 타당하지 않다고 할 수 있다. 항복변형은 항복하중으로부터 계산할 수 있으므로 항복변형의 크기를 일정 값으로 정의하기는 어려우며, 비구조부재와 설비에서 요구하고 있는 변형(각)으로 제한하는 것이 타당하다. 향후 실험과 해석을 통해 심도 있는 검토가 필요할 것으로 판단된다.

(3) 복구한계

적재하중에 대해서는 손상한계를 넘는 상태는 실용성이 떨어지는 것으로 판단되며 R과 Q의 공학량은 정

의하기 어려울 것으로 판단된다. 복구 용이성의 기준으로 명확한 것은 없으나, SEAOC Vision 2000, SAC-FEMA, 피재도 판정기준에서와 같이 R과 Q의 공학량으로 층간잔류변형을 사용할 수 있다.

(4) 안전한계

대변형 영역에서는 수평변형 증가에 따른 $P-\Delta$ 효과를 반드시 고려해야 한다.

표 3 항복 시 골조의 층간변형

	기둥길이 (H)	순높이	단면	항복 시 기둥변형	동좌 층간변형각	보항복층 변형	층간변형각	패널	전체	
								보항복시 층패널변형	동좌 층간변형각	
Case 1	임의골조 (SM490)	3500	2900	□-500x28	4.37	802	11.54	303	3.57	180
Case 2	Case1에 가새사용 (골조내력 1/2)	3500	3050	□-400x22	6.16	568	15.44	227	4.70	133
Case 3	4층 장스팬 (SM490급)	3300	2704	H-400x400 x13x21	9.74	339	10.48	315	6.92	122
	4층 단스팬 (SM490급)	3300	2704	H-400x400 x13x21	10.08	327	10.56	312	6.57	121
Case 4	5층 고층부 (SM490급)	3800	3200	□-450x19	8.80	432	13.69	278	5.99	133
	5층 저층부 (SM490급)	3800	3200	□-450x2	8.56	444	13.82	275	5.73	135
Case 5	9층 고층부 (SS400급)	3800	3206	□-450x32	6.78	560	10.58	359	4.66	173
	9층 중층부 (SS400급)	3800	3212	□-450x25	7.24	525	10.69	355	5.23	164
	9층 저층부 (SS400급)	4100	3518	□-450x22	8.38	489	12.51	328	5.83	153

4. 결론

강구조 건축물의 성능설계 프로세스를 정립하기 위하여 성능레벨과 그에 따른 한계상태에 대한 분류방법을 제안하고, 각 성능레벨의 성능을 규정치를 검토하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1) 성능레벨을 레벨1 “기능유지”, 레벨2 “무손상”, 레벨3 “복구가능”, 레벨4 “인명보호”, 레벨5 “붕괴”의 5단계로 제안하였다. 또한 각 한계상태를 “기능한계”, “손상한계”, “복구한계” 및 “안전한계”로 분류하였다.

2) 강구조 건축물의 성능을 명확히 규정하기 위한 성능기준치 중에 우선 층간변형각을 검토하였으나, 항복 변형각은 많은 편차가 존재하고, 이를 일정 값으로 규정하기는 매우 힘들다. 이러한 기준치 설정을 위한 데이터는 아직 매우 부족하므로 이에 대한 실험적, 해석적 연구가 보완되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 건설교통R&D정책·인프라사업, “성능중심의 건설기준 표준화” 과제(’06~’11) 연구결과의 일부입니다.

참고문헌

Hiromi KIHARA, Haruyuki KITAMURA, Nobuyuki MORI(2005) JSCA CODE AND PERFORMANCE MENU, 9th US-JAPAN Structural Engineering , Banquva