

변형률 데이터를 이용한 철골모멘트골조의 횡응답 예측을 위한 해석적 연구

김시준¹, 최세운^{2*}

A Numerical Study to Estimate the Lateral Responses of Steel Moment Frames Using Strain Data

Si-Jun Kim¹, Se-Woon Choi^{2*}

Abstract: In this study, the method to predict the lateral response by using strain data is presented on the steel moment frame. For this, the reliability of the proposed method by applying the example of five-story frame structure were verified. Using the strain value of columns, it predicted the lateral response of structure. It is assumed that all of four strain sensors for one column set up and the strain responses of both end of the column are utilized. The lateral response of member is calculated by using the slope deflection method. Also, using the acceleration response of the one layer, the stiffness of the rotation spring located in the supporting point is predicted. As a result, it was effective to understand the lateral displacement and acceleration responses and to predict local damage and location.

Keywords: Strain response, Lateral deformation, Acceleration response, Steel moment frame

1. 서론

최근 국내에서 발생한 규모 5.0 이상의 지진에 의해 구조물의 내진설계에 대한 관심이 높아짐과 더불어 지진력에 대한 구조물의 안전성과 사용성을 평가할 수 있는 모니터링 기술 또한 그 중요성이 커지고 있다. 일반적으로 건물의 중요도에 따라 내진설계 반영 수준 및 구조물의 건전성 평가를 위한 모니터링 방법이 다르게 적용되며, 원전 시설 또는 초고층 구조물의 경우 다양한 센서를 통하여 건물의 상태평가를 진행하고 있다. 그러나 이러한 모니터링 시스템을 구축하기 위해서는 많은 다수의 센서 및 관리 시스템이 필요하며, 유지관리 비용 발생이 큰 단점이 있어, 다양한 구조물에 적용하기에는 어려움이 있다(Lee et al., 2009; 2010). 따라서 지진에 대한 불안감이 커지고 있는 만큼 다양한 구조물에 적용이 가능하며, 건물의 안전성과 사용성 평가가 가능한 모니터링 방법이 요구된다.

기존의 모니터링 기술은 사용 목적에 따라 안전성과 사용성 모니터링으로 구분되었으며, 일반적으로 안전도 평가에는

변형률계, 사용성 평가에는 가속도계, 변위계 등이 사용된다(Choi et al., 2013). 구조물의 안전성 및 사용성 평가를 위한 연구는 계측된 변형률 데이터로부터 변위응답을 추정하는 기법(Kim and Cho, 2002; Choi et al., 2006; Kang et al., 2007)이 일반적이며, 모드분해법을 이용한 변위응답을 추정하는 기법이 연구되었다(Chang and Kim, 2008; Brincker et al., 2001). 대부분의 기존 연구는 보 구조를 대상으로 변위응답을 추정하는데 국한되었다.

본 연구에서는 철골모멘트골조를 대상으로 한 변형률 기반 횡응답 예측 기법을 제시한다. 이는 한 개의 기둥 당 총 4개의 변형률 센서가 설치된다고 가정하고 이를 통해 기둥의 양단부의 변형률 응답을 활용한다. 변형률은 기둥 양단부의 상·하부면에서의 값이 이용된다. 이와 같은 변형률 값을 특정 기둥 열을 이루는 모든 기둥으로부터 얻을 수 있다는 가정한다. 기둥 양단부의 하부면 및 상부면의 변형률 값을 동시에 이용하기 때문에 단부의 휨모멘트값을 얻을 수 있다. 이는 처짐각법을 이용해 해당 부재의 횡응답을 예측하는데 활용된다.

한편, 지점과 연결되는 기둥 단부는 고정단으로 설계를 하여도 실제 무한강성을 가지기 어렵기 때문에 본 연구에서는 해당 부분을 회전스프링을 이용하여 유한 강성을 가지는 것으로 고려하였다. 그러나 기둥 부재의 횡거동은 변형률 센서를 통해 계산할 수 있지만, 지점의 거동은 이것만으로는 예측하는데 한계가 있으며, 추가적인 정보가 필요하다. 따라서 가

¹정회원, 경기대학교 플랜트건축공학과 조빙교수

²정회원, 대구가톨릭대학교 건축학부 조교수, 교신저자

*Corresponding author: watercloud@cu.ac.kr

Catholic University of Daegu, Kyoungsan, 38430, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2016년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

속도계가 추가적으로 설치될 수 있다는 가정 하에 한 개 층의 가속도 응답을 이용하여 지점에 위치한 회전 스프링의 강성을 예측하였다. 제시하는 기법은 5층 1경간 철골모멘트골조 예제에 적용하여 제시하는 기법의 신뢰성을 검증한다. 또한 다양한 손상시나리오를 고려하여 변형률 응답을 통해 손상 유무 및 위치를 파악할 수 있는지 평가하였다.

2. 변형률 기반 횡응답 예측기법

본 연구에서는 철골모멘트를 대상으로 하는 변형률 기반 횡응답 예측기법을 제시한다. 이는 부재의 안전성 모니터링에 활용되는 변형률 센서로부터 얻게 되는 변형률 응답값을 이용하여 건물 레벨의 횡변형 응답을 예측하는 것으로 목적으로 한다. 이를 위해 건물 내에 위치하는 특정 기둥열을 구성하는 모든 기둥에 변형률 센서가 부착되어 있으며, 특히 각 층의 기둥에는 Fig. 1과 같이 상·하부에 총 4개의 변형률 센서가 설치되어 있다고 가정한다. 연구에서 고려하는 구조물의 거동은 평면으로 제한하기 때문에 변형률 센서는 단면의 약축에 대칭적으로 위치한다고 가정한다.

이와 같은 센서 설치 위치에 대한 가정 이유는 식 (1)과 (2)에 나타난 것과 같이 기둥 단부의 양면에서 계측되는 변형률 응답을 이용하면 Fig. 2와 같이 해당 부재의 단부에 작용하는 휨모멘트에 의해 발생하는 휨변형률을 계산할 수 있기 때문이다.

$$\varepsilon_M = \frac{\varepsilon_t + \varepsilon_b}{2} \quad (1)$$

$$\varepsilon_P = \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_b}{-2} \quad (2)$$

여기서, ε_t 와 ε_b 는 단면의 상부와 하부에 계측되는 변형률, 강도, ε_M 와 ε_P 는 해당 단면에 작용하는 휨모멘트와 축력에 의해 발생하는 변형률이다. 이를 이용하면 식 (3)과 (4)에 나타난 것처럼 부재 단면에 작용하는 축력과 휨모멘트를 구할 수 있다.

$$\varepsilon_M = \frac{M}{EZ} \quad (3)$$

$$\varepsilon_P = \frac{P}{A} \quad (4)$$

여기서, M 와 P 는 부재 단면에 작용하는 휨모멘트와 축력, E , Z 와 A 는 탄성계수, 단면계수와 단면적이다.

일반적으로 건축물의 횡변형에 대한 축력의 기여도는 작기 때문에 횡변형을 계산할 때 휨모멘트에 의한 기여만을 고려할 수 있다. 식 (1)~(4)를 통해 기둥 단부에 작용하는 휨모멘트를 얻으면, 이를 활용하여 해당 부재의 횡 변형을 계산할 수 있다. 이때 사용할 수 있는 방법은 여러 가지이나 본 연구에서는 처짐각법을 사용하도록 한다(Hibbeler, 2011). 이는 Fig. 3, 식 (5)과 (6)에 나타난 것과 같이 부재 단부에 작용하는 휨모멘트, 부재 내에 작용하는 외부하중, 부재 단부의 회전각 등의 주요

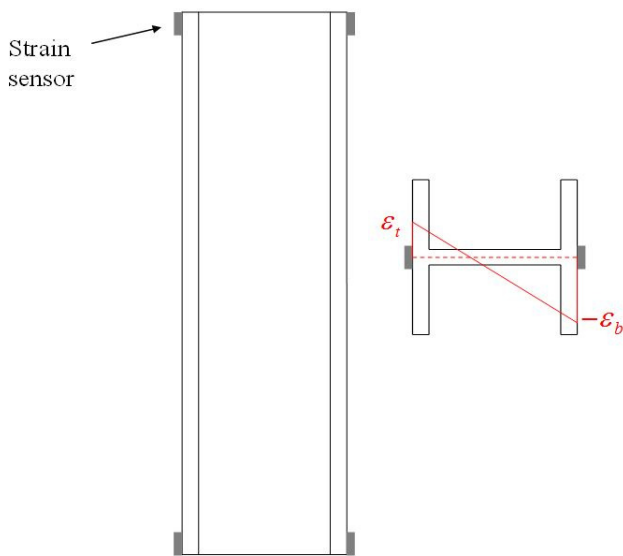


Fig. 1 Installment of strain sensors

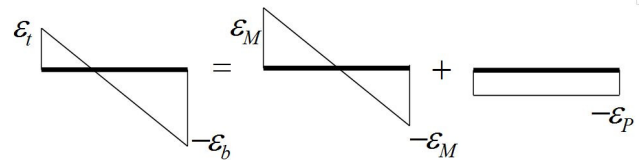


Fig. 2 Transformation of strain data

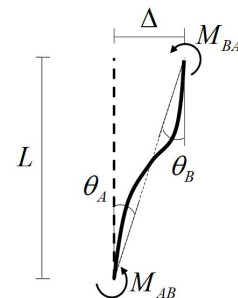


Fig. 3 Slope deflection method

인자들 간의 연관관계를 이용하여 부재의 모멘트, 처짐각, 처짐 등을 구하는데 활용된다.

$$M_{AB} = \frac{2EI}{L} \left(2\theta_A + \theta_B - 3\frac{\Delta}{L} \right) + C_{AB} \quad (5)$$

$$M_{BA} = \frac{2EI}{L} \left(2\theta_B + \theta_A - 3\frac{\Delta}{L} \right) + C_{BA} \quad (6)$$

여기서, M_{AB} 와 M_{BA} 는 부재 AB의 A단과 B단에서 작용하는 휨모멘트, I 는 단면2차모멘트, L 는 부재 길이, C_{AB} 와 C_{BA} 는 부재 길이 내부에 작용하는 외부하중에 의해 A단과 B단에서 발생하는 재단모멘트, Δ 는 횡변위, θ_A 와 θ_B 는 A단과 B단의 절점각이다.

M_{AB} 와 M_{BA} 은 식 (1)~(3)을 통해 변형을 응답값을 이용하여 구할 수 있으며, 기둥 부재 내부에 작용하는 횡력하중은 절점하중으로 고려할 수 있기 때문에 C_{AB} 와 C_{BA} 는 0으로 처리할 수 있다. 또한 본 연구의 대상구조물인 철골모멘트골조의 지점의 특성에 따라 지점에 연결된 기둥의 θ_A 은 0으로 처리하거나(고정단의 경우), M_{AB} 을 0으로 처리(회전단의 경우)할 수 있다. 따라서 지점조건, 기둥 부재 단부에서 얻을 수 있는 변형률 값을 이용하면 해당 부재 상부의 회전각(θ_B) 및 횡변위(Δ) 등을 구할 수 있다. 단, 탄성계수(E)와 단면2차모멘트(I)은 알고 있는 값이어야 한다. 철골모멘트골조의 경우 공장에서 제작하고, 품질이 균질한 특성을 가지고 있기 때문에 사용되는 재료의 탄성계수, 부재의 단면2차모멘트 값을 사전에 알고 있다고 가정할 수 있다.

그러나 철골모멘트골조의 경우 공장에서 제작한 부재를 현장에서 조립을 하기 때문에 접합부의 회전강성을 정확하게 알기는 어렵다. 또한 지진 등과 같은 하중에 의해 구조물에 발생하게 되는 비선형거동이나 손상은 일반적으로 Fig. 4와 같이 부재 단부에 집중된다고 가정하고, 회전스프링을 부재 단부에 위치시켜 이를 고려하도록 한다.

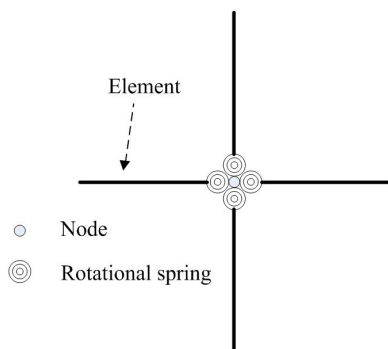


Fig. 4 Rotational spring modeling

회전스프링을 추가적으로 고려하게 되면 식 (5)와 (6)에서 회전스프링에 의한 횡변위 기여도가 추가적으로 고려되어야 한다. 이러한 회전스프링의 횡변위 추가 기여도는 기둥 하부에 위치한 회전스프링의 회전각에 기둥 부재 길이를 곱하여 구할 수 있다.

회전스프링을 고려하게 되면 회전스프링의 회전각이라는 미지수가 추가적으로 발생한다. 이는 회전스프링의 회전강성과 회전스프링에 전달되는 휨모멘트에 의해서 결정된다. 회전스프링에 전달되는 휨모멘트는 기둥 단부에 위치한 변형률을 통해 예측할 수 있지만, 회전스프링의 강성은 다른 정보가 없다면 예측할 수가 없다.

따라서 본 연구에서는 이를 찾기 위해서 가속도계가 추가적으로 설치된다고 가정한다. 가속도계는 건축물의 사용성을 평가하는데 널리 사용되는 센서이며, 현재에도 다수의 실제 건축물에 설치되어 구조물의 응답값을 얻는데 활용되고 있다.

회전스프링 강성을 가정한 채, 계측되었다고 가정한 변형률을 이용하면 대상 건축물의 횡변위를 예측할 수 있으며, 이를 Eq. (7)과 같이 이중미분을 하면 횡방향 가속도 응답을 예측할 수 있다.

$$a(t) = \frac{-y(t-3) + 4y(t-2) - 5y(t-1) + 2y(t)}{(\Delta t)^2} \quad (7)$$

여기서, $a(t)$ 와 $y(t)$ 는 시간 t 에서의 가속도응답과 횡변위 응답, Δt 는 단위시간변화량이다.

이러한 가속도 예측값은 가속도계로부터 계측되었다고 가정된 가속도 응답과 비교하면, 가정한 회전스프링 강성에 따른 오차를 평가할 수 있다. 이러한 과정을 통해 오차를 최소화하는 회전스프링의 회전 강성값을 찾을 수 있다.

3. 예제 적용

3.1 개요

본 연구에서는 Fig. 5와 같은 5층 1경간 철골모멘트골조 예제를 이용하여 2장에서 제시한 변형률 데이터를 이용한 구조물의 횡응답 예측기법을 검증한다. 예제 건물의 경간길이는 9.14 m이고, 높이는 19.8 m(층높이 3.96 m)이다. 이것의 1차, 2차, 3차 고유주기는 각각 1.79 s, 0.55 s, 0.30 s이다.

구조물의 변형률 값을 얻기 위해 왼쪽 기둥열에 변형률 센서가 기둥 당 4개씩 설치되어 총 20개의 변형률 센서가 사용되었다고 가정한다. 그리고 기둥에 설치되는 센서의 위치는 Fig. 1에 나타난 것처럼 양 단부에 대칭으로 설치되어 단부의 변형률값을 얻을 수 있다고 가정한다.

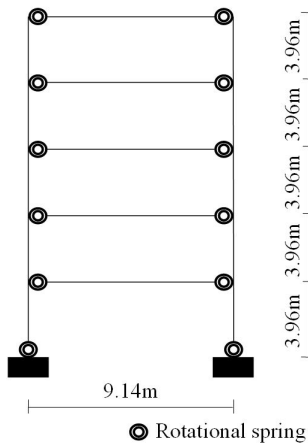


Fig. 5 Example structure

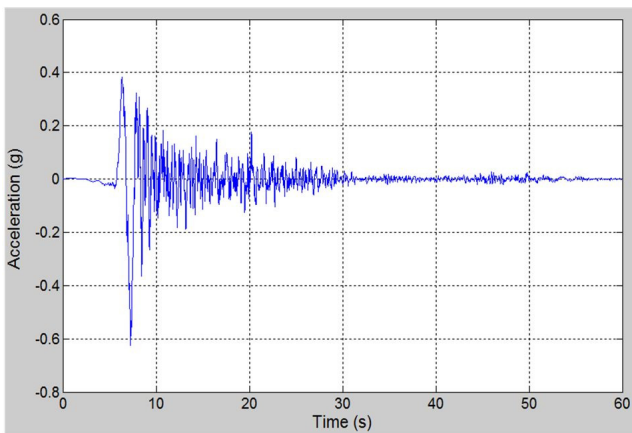


Fig. 6 Ground motion graph

본 연구에서 고려한 예제 구조물은 Fig. 5에 나타난 것처럼 강기둥-약보 조건을 만족시키는 구조물로 선정하였다. 강기둥-약보 조건은 구조물의 내진설계 과정에서 고려되는 조건으로써, 보부재보다 기둥을 강하게 설계함으로써 강진이 발생하였을 경우 기둥보다는 보에서 먼저 손상이 발생하도록 유도하여 연약층과 같은 층붕괴 모드를 방지하기 위한 설계 조건이다(Choi and Park, 2012; Choi et al., 2013). 보 붕괴 모드를 유도하여 높은 에너지 소산능력과 연성능력을 확보하고자 강기둥-약보 조건을 만족하도록 설계된 건물은 지점에 연결된 기둥 단부와 보 단부에서 소성변형이 발생하는 것으로 가정할 수 있으며, 지진에 의한 손상은 부재 단부에 위치한 회전스프링의 회전강성을 감소시키는 방법을 통해 고려할 수 있다.

이와 같은 이유로 예제 구조물은 Fig. 5와 같이 지점에 연결된 기둥 단부와 보 단부에 회전스프링을 적용하여 모델링하였으며, 회전 스프링을 포함한 모든 요소는 선형탄성거동을 하도록 적용 하였다. 패널존의 강성 및 강도 효과는 고려하지

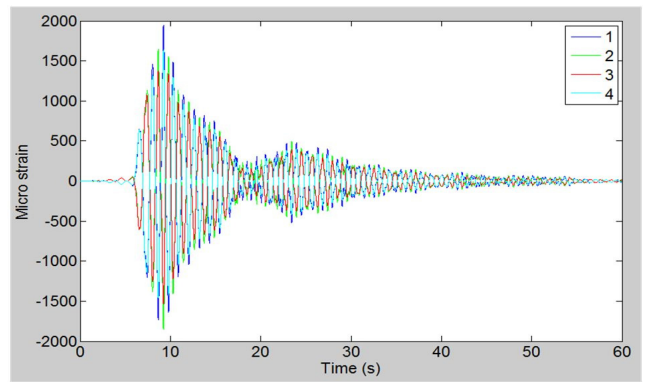


Fig. 7 Graph of strain responses

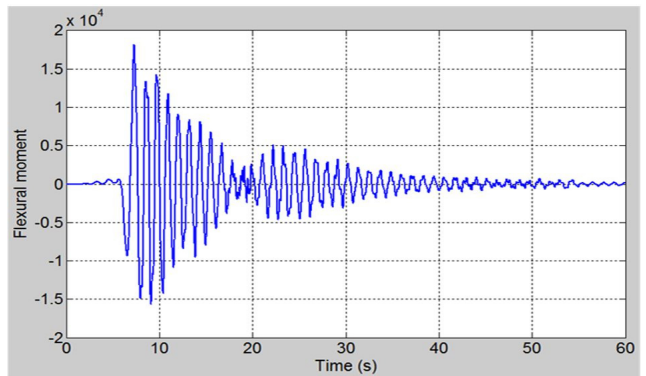


Fig. 8 Graph of flexural moment responses

않았으며, 기둥과 보의 접합부는 회전스프링을 이용해 모형화 하였다. 회전스프링의 회전강성에 대한 초기 설정값은 $6EI/L$ 를 통해 설정하도록 하였다. 다이어프램 효과와 P-delta 효과는 고려되었으며, gravity-frame에 의한 기여는 고려하지 않았다. 예제 구조물의 모형화 및 해석은 비선형 내진해석프로그램인 OpenSees를 사용하였다.

구조물의 응답을 계산하고 비교하기 위해 Fig. 6과 같은 지진파를 이용하여 지진해석을 수행하였다. 지진동을 통해 기둥의 양 단부에서 변형률 데이터를 얻도록 하였다. 또한 지점에 연결된 기둥의 회전강성을 찾기 위해 구조물의 한 개 층에 가속도계가 설치되었다고 가정하여 해당 층의 가속도 응답값을 얻도록 하였다. 이 가속도 응답은 지점에 위치한 회전스프링의 회전강성값을 찾는 데 활용될 뿐 아니라 변형률 데이터에 기반하여 구조물의 횡변형을 예측한 응답값과 비교하는데 활용된다.

3.2 응답값 결과 및 예측 분석

Fig. 6와 같은 지진파를 적용하게 되면 1층 기둥에서는 Fig. 7과 같은 변형률 데이터를 얻을 수 있다. 이러한 변형률 데이터는 식 (1)~(4)를 이용하면 Fig. 8과 같은 시간에 따른 휨모멘

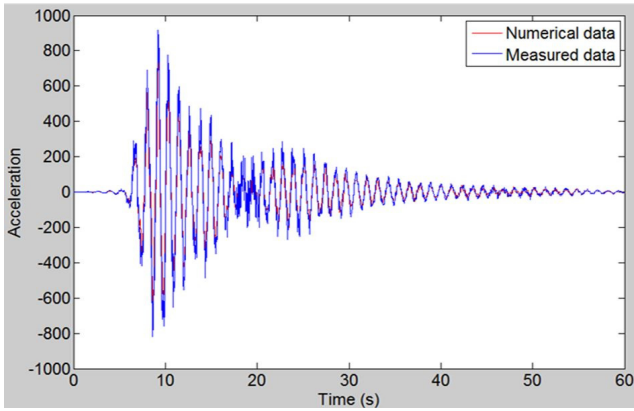


Fig. 9 Comparison of acceleration response ($K^* = (1/2)K_R$)

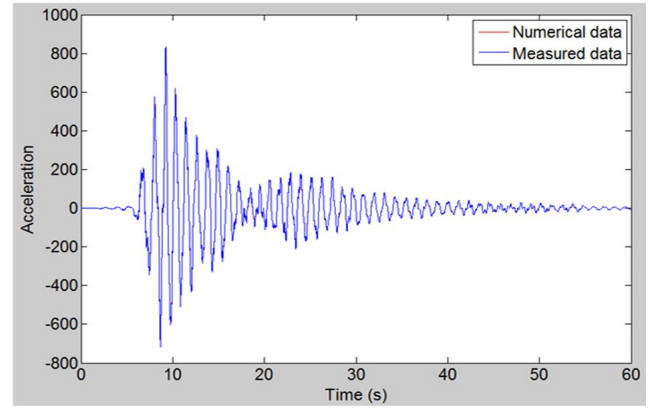


Fig. 11 Comparison of acceleration response ($K^* = (1.0)K_R$)

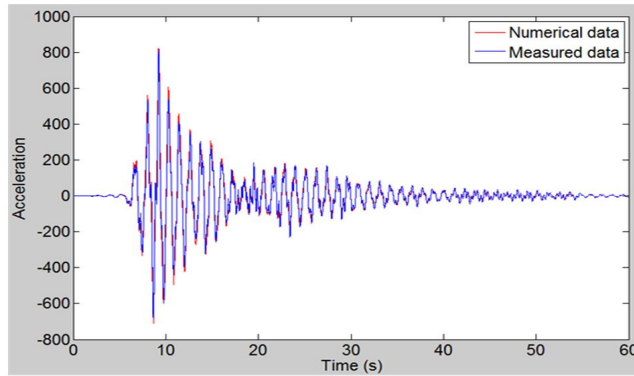


Fig. 10 Comparison of acceleration response ($K^* = (2.0)K_R$)

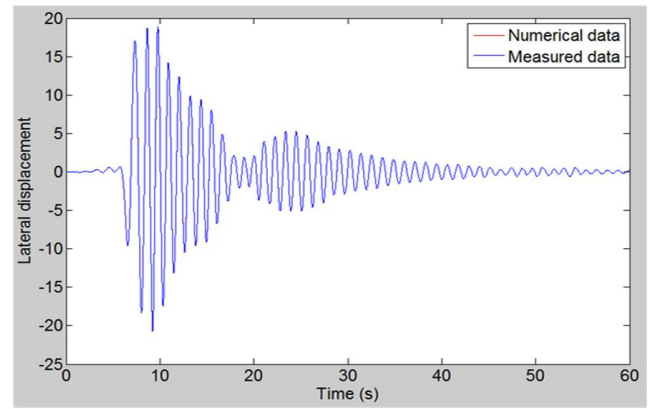


Fig. 12 Comparison of displacement response ($K^* = (1.0)K_R$)

트 이력 데이터를 얻을 수 있다. 한편, 이러한 단부 휨모멘트 데이터는 식 (5)~(7)와 같은 공식을 통해 구조물의 횡변위 및 횡가속도를 얻을 수 있다. Fig. 9는 지점에 위치한 회전스프링의 강성에 대한 예측값(K^*)이 참값(K_R)의 반일 때에 대한 가속도 응답값을 비교한 그래프이다. ‘Numerical data’는 2장의 내용에 따라 변형률 응답을 통해 예측된 가속도값이며, ‘Measured data’는 가속도계로부터 얻었다고 가정된 가속도값이다. 이는 구조해석을 통해 직접 얻게 되는 가속도응답값이기 때문에 본 연구에서는 참값으로 사용하였다. 예측값은 참값과 비교하여 다소 작은 응답값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 한편, Fig. 10은 동일한 방법으로 지점에 위치한 회전스프링의 강성에 대한 예측값(K^*)이 참값(K_R)의 두 배일 때에 대한 가속도 응답값을 비교한 그래프이다. 참값과 비교하여 다소 큰 응답값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 통해 회전스프링에 대한 강성 값을 찾을 필요성을 확인할 수 있다.

한편, 실제의 회전강성을 찾게 되면 Fig. 11~12와 같이 참값과 매우 유사한 응답값을 예측할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 실 건축물의 횡변위를 계측하는 방법으로는 GPS

를 통해 최상층의 횡변위를 직접 계측하거나 가속도계를 통해 가속도응답을 얻고 이를 이용해 횡변위응답을 예측하는 기법이 사용된다(Park et al., 2015(a); Park et al., 2015(b)). 현재 GPS의 sampling rate은 낮아 지진응답을 예측하는 것에는 한계가 있다. 그리고 본 연구에서는 변위 센서가 설치되어 있지 않다고 가정하였지만, 시뮬레이션 과정에서는 변위 응답을 예측할 수 있다. 그래서 참고용으로 가속도응답뿐 아니라 변위응답도 함께 비교하였다.

3.3 회전강성 변화에 따른 동특성 및 응답 비교

3.2절에서는 2장에서 제시한 변형률 기반 횡응답 예측기법을 예제 적용을 통해 검증하였다. 한편 3.3절에서는 지진에 의한 손상이 발생하여 Fig. 5에서 표시된 부재 단부에 위치한 회전스프링의 회전강성이 변화되었다는 가정 하에 구조물의 동특성 변화와 응답을 비교한다.

Table 1은 본 연구에서 고려한 회전스프링의 손상시나리오를 나타낸다. Table 1에 나타난 수치는 회전강성의 상대적 값을 의미한다. 손상이 없을 경우에 대한 회전강성의 값을 1.0으

로 가정하였다. 첫 번째 시나리오의 경우, 지점에 위치한 기둥 단부의 회전스프링에만 손상(20% 강성 저하)이 발생한 경우이다. 두 번째 시나리오는 2층 바닥에 위치한 회전스프링의 강성만이 20% 감소한 경우이다.

Table 1 Damage scenario of rotational springs

No.	Relative value of rotational stiffness					
	Column	Beam				
		2nd floor	3rd floor	4th floor	5th floor	Roof floor
No damage	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
#1	<u>0.8</u>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
#2	1.0	<u>0.8</u>	1.0	1.0	1.0	1.0
#3	1.0	1.0	<u>0.8</u>	1.0	1.0	1.0
#4	1.0	1.0	1.0	<u>0.8</u>	1.0	1.0
#5	1.0	1.0	1.0	1.0	<u>0.8</u>	1.0
#6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	<u>0.8</u>

Table 2 Changes of natural periods

Scenario	Natural period at each mode				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
No damage	1.80	0.56	0.30	0.20	0.16
#1	<u>1.81</u>	0.56	0.30	0.20	0.16
#2	<u>1.81</u>	0.56	0.30	0.20	0.16
#3	<u>1.82</u>	0.56	0.30	0.20	0.16
#4	<u>1.81</u>	0.56	0.30	0.20	0.16
#5	1.80	0.56	0.30	0.20	0.16
#6	1.80	0.56	0.30	0.20	0.16

Table 3 Changes of strain responses in columns

Scenario	1st floor		2nd floor		3rd floor		4th floor		5th floor		
	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	Bottom	Top	
No damage	Value	903	299	598	540	438	540	279	448	116	293
#1	Value	879	321	590	543	432	537	274	443	112	287
	Ratio	0.97	1.07	0.99	1.01	0.99	1.00	0.98	0.99	0.96	0.98
#2	Value	919	275	575	554	427	538	271	442	110	285
	Ratio	1.02	0.92	0.96	1.03	0.98	1.00	0.97	0.99	0.95	0.97
#3	Value	899	291	612	515	411	554	267	445	109	284
	Ratio	1.00	0.97	1.02	0.95	0.94	1.03	0.96	0.99	0.94	0.97
#4	Value	902	298	601	535	453	523	260	464	109	293
	Ratio	1.00	1.00	1.00	0.99	1.04	0.97	0.93	1.04	0.94	1.00
#5	Value	907	300	602	542	442	540	292	438	105	305
	Ratio	1.00	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.05	0.98	0.90	1.04
#6	Value	905	300	600	541	439	541	281	447	124	286
	Ratio	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.07	0.98

Table 2는 손상시나리오에 따른 고유주기의 변화를 정리하였다. 2차모드 이상에서 고유주기 변화는 없었으며, 시나리오 #5와 #6에서는 고유주기의 변화가 확인되지 않았다. 이는 #5와 #6과 같이 상층부에서 손상과 그에 해당하는 손상수준에 대해서는 동특성 변화로 손상을 감지할 수 없음을 의미한다. 반면 시나리오 #1~#4에서는 고유주기의 변화가 나타났기 때문에 손상 유무를 확인할 수 있으나, 변화 정도가 작은 한계를 가진다. 이와 같은 결과는 상층부 회전강성에 대한 손상에 대한 구조물의 동특성 민감도는 중층부 혹은 하층부에서의 민감도보다 작다는 것을 의미한다. 동일한 수준의 손상에 대해 동특성 변화가 위치에 따라 다르게 나타났기 때문이다.

한편, 기둥 단부에서 얻게 되는 변형률 변화를 손상시나리오별로 정리하여 Table 3에 나타내었다. 손상에 따른 변형률 응답 변화를 확인할 수 있을 뿐 아니라 손상이 발생한 층의 위치도 유추할 수 있음을 확인할 수 있다. 시나리오에 따른 손상 위치를 고려하면(예, #1은 1층 지점에서 손상 발생, #2는 2층 바닥에서 손상 발생, #3은 3층 바닥에서 손상 발생 등) 손상 위치 주변의 기둥에서의 변형률 변화가 다른 위치의 변형률 변화보다 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 철골모멘트골조를 대상으로 한 변형률 기반 횡응답 예측 기법을 제시하고, 이를 5층 1경간 예제에 적용하여 제시하는 기법의 신뢰성을 검증하였다.

제시하는 기법은 특정 기둥열을 선정하고 기둥의 양 단부에

서 발생하는 변형을 값을 이용한다. 기둥 양 단부에서 하부면 및 상부면의 변형을 값을 동시에 이용하기 때문에 단부의 휨모멘트값을 얻을 수 있다. 이는 처짐각법을 이용해 해당 부재의 횡응답을 예측하는데 활용된다. 기둥 부재의 횡거동은 변형률 센서를 통해 계산할 수 있지만, 지점의 거동은 이것만으로는 예측하는데 한계가 있기 때문에 추가적으로 가속도계가 추가적으로 설치될 수 있다는 가정 하에 한 개층의 가속도 응답을 이용하여 지점에 위치한 횡응답을 예측하도록 하였다.

제시한 기법의 예제 적용 결과, 변형률 응답을 통해 횡변위 및 횡가속도를 신뢰할 수 있는 수준으로 예측할 수 있음을 확인하였다. 또한, 기둥의 국부 위치에서 얻게 되는 변형률 응답은 손상 여부 및 위치를 파악하는데 효과적인 것을 확인하였다. 반면, 고유주기와 같은 동특성은 구조물의 손상을 파악하는데 한계가 있음을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(No. 2014R1A1A2059874).

References

Brincker, R., Zhang, L., and Andersen, P. (2001), Modal Identification of Output-only Systems using Frequency Domain Decomposition, *Smart Materials and Structures*, 10, 441-445.

Chang, S. J., and Kim, N. S. (2008), Estimation of Displacement Response from the Measured Dynamic Strain Signals Using Mode Decomposition Technique, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 28(4A), 507-515.

Choi, E. S., Kang, D. H., Chung, W. S., and Kim, H. S. (2006), Estimation of Dynamic Displacement and Characteristics of A Simple Beam from FBG Sensor Signals, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, 18(4), 503-514.

Choi, S. W., and Park H. S. (2012), Multi-objective Seismic Design Method for Ensuring Beam-hinging Mechanism in Steel Frames, *Journal of Constructional Steel Research*, 74, 17-25.

Choi, S. W., Kim, Y., Lee, J., Hong, K., and Park, H. S. (2013), Minimum Column-to-beam Strength Ratios for Beam-hinge Mechanisms based on Multi-objective Seismic Design, *Journal of Constructional Steel Research*, 88, 53-62.

Hibbeler, R. C. (2011), *Structural Analysis*, Prentice Hall, 451-486.

Kang, L. H., Kim, D. K., and Han, J. H. (2007), Estimation of Dynamic Structural Displacements Using Fiber Bragg Grating Strain Sensors, *Journal of Sound and Vibration*, 305, 534-542.

Kim, N. S., and Cho, N. S. (2002), Estimation of Bridge Deflection Using Fiber Optic Bragg-grating Sensors, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22(6A), 1357-1366.

Lee, H. M., and Park, H. S. (2009), Estimation of the Maximum Stress of a Beam-Column Based on Average Strains from Vibrating Wire Strain Gages, *Proceeding of Architectural Institute of Korea*, 29(1), 17-20.

Lee, H. M., Kim, J. M., Sho, K., and Park, H. S. (2010), A Wireless Vibrating Wire Sensor Node for Continuous Structural Health Monitoring, *Smart Materials and Structures*, doi:10.1088/0964-1726/19/5/055004.

Park, H. S., Park, K., Kim, Y., and Choi, S. W. (2015a), Deformation Monitoring of a Building Structure using a Motion Capture System, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 20, 2276-2284.

Park, S. W., Park, H. S., Kim, J. H., and Adeli, H. (2015b), 3D Displacement Measurement Model for Health Monitoring of Structures using a Motion Capture System, *Measurement*, 59, 352-362.

Received : 10/06/2016

Revised : 10/14/2016

Accepted : 10/17/2016

요 지 : 본 연구는 철골모멘트골조를 대상으로 변형률 기반 횡응답 예측 기법 제시한다. 기둥의 변형률 데이터를 이용하여 건물레벨의 횡응답을 예측한다. 변형률 데이터는 한 개의 기둥 당 총 4개의 변형률 센서가 설치된다고 가정하여 기둥의 양 단부의 변형률 응답 값을 이용한다. 양단부의 변형률 값을 통해 단부의 휨모멘트를 계산하고 이를 처짐각법에 적용하면 건물레벨의 횡응답을 예측할 수 있다. 또한 한 개층에 설치된 가속도계의 응답을 이용하여 지점에 위치한 회전스프링의 강성값을 예측하였다. 제시한 기법은 5층 1경간 철골모멘트골조 예제에 적용하여 그것의 신뢰성을 검증하였다. 횡변위 및 횡가속도에 대한 예측 응답이 비교값과 일치하는 결과를 얻었으며, 손상 여부 및 위치를 파악하는데 효과적임을 확인하였다. 반면 고유주기와 같은 동특성은 구조물의 손상을 파악하는데 한계가 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 변형률 응답, 축변형, 가속도 응답, 철골모멘트골조