레이저 스캐닝 좌표정보로부터 회귀분석 기법을 이용한 보 부재의 응력 추정

Estimation of displacement and stress of beam member using regression analysis from coordinates information of laser scanning.

홍 정 범* • 박 성 우** • 이 홍 민*** • 박 효 선****
Hong, Jeong-Beom • Park, Sung-Woo • Lee, Hong-Min • Park, Hyol-Seon

요 약

본 연구에서는 Terrestrial Laser Scanning (TLS)를 이용한 보 구조물의 변위 및 응력 추정에 대한 기법을 개발하였다. TLS는 Geographic Informatio Systems (GIS) 분야에서 처음 도입된 시스템으로, 레이저 펄스를 통해 원격으로 목적물의 3차원 좌표 정보를 획득 할 수 있는 시스템이다. 그러나 이러한 TLS로부터 획득한 대상물의 3차원 좌표 데이터는 10mm 내외의 오차를 포함하고 있다. 이에 건축 구조분야에 적용 가능한 변형 정보를 획득하기 위해서는 보다 정밀한 데이터 획득을 위한 데이터 처리 기법이 필요하다. 또한 구조물의 응력의 경우 획득된 형상 위의 각 지점의 곡률로 인해 발생하기 때문에 구조물의 변형 추정시 보다 미세한 오차에도 크게 영향을 받아 심한 왜곡을 가져오게 된다. 그러므로 응력 추정시 추가적인 데이터 처리 기법이 필요하다. 이에 본 연구에서는 보 구조물의 응력을 추정할 수 있는 기법을 제시한다.

keywords : SHM, TLS, 응력추정

1. 서 론

TLS는 GIS분야에서 처음 도입되어 도시 계획, 자연물 대상 모니터링, 문화재의 복원 등에서 사용되어 짐에 따라 그 응용 범위를 점점 넓혀 가고 있는 시스템이다. 이러한 TLS는 계측시 환경적 영향을 많이 받지 않고, 목적물의 전 표면에 걸친 계측이 가능하며, 목적물에 직접 부착하지 않고 원격으로 계측이 가능하다는 장점들을 갖고 있어 Park에 의해 처음 건축 분야에 도입이 되었다(Park, 2007). 추가적인 연구로 Lee는 집중하중을 받는 보의 변형 형상을 정밀이 추정하는 기법을 제시하였다(Lee, 2008). 그러나 Lee는 집중하중을 받는 보에 그 적용이 국환되는 기법으로 다양한 변형 형상을 나타내는 구조물에 그 적용에 한계가 있다(Lee, 2008). Hong은 임의의 하중에 의한 변형 형상의 추정이 가능한 변형 형상 추정 기법을 제시 하였다(Hong, 2010). 하지만 Hong이 제시한 추정 기법으로 획득한 구조물의 변위 값들은 상호 연속성이 부족하여 미세한 오차에도 심한 왜곡을 가져오는 응력의 추정에 대해서는 한계가 있다(Hong, 2010). 이에 본 연구에서는 Hong이 제시한 변위 추정 기법의 추가적인 연구로 임의의 하중에 의해 발생하는 변형 형상을 이용한 구조

* 학생회원 • 연세대학교 건축공학과 석사과정 jeongbeom@yonsei.ac.kr
** 정회원 • 대림산업 사원 email@daelim.co.kr
*** 정회원 • 연세대학교 건축공학과 박사후 과정 idislee@yonsei.ac.kr
**** 정회원 • 연세대학교 건축공학과 교수 hspark@yonsei.ac.kr

물의 응력 추정 기법을 제시하고자 한다(Hong, 2010).

2. 변형 형상 및 응력 추정

기존 연구에서 TLS를 통해 획득한 보 구조물의 3차원 좌표 데이터를 회귀분석의 중첩을 이용하여 변형 형상을 계측하는 기법을 제시하였다(Hong, 2010). 이는 임의의 하중에 의해 발생하는 변형 형상에 대해 정밀한 결과를 보여 주었다. 하지만 기존 연구에서 획득한 비연속적인 변위 데이터는 응력 추정시 그 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 TLS를 통해 획득한 3차원 좌표 정보를 이용하여 변형 형상 및 응력을 추정하는 기법을 제시하고자 한다.

본 연구에서 제시하는 방법은 TLS를 통해 획득된 목적물의 3차원 좌표 정보 내 주변 환경의 영향에 의해 미 획득된 부분의 데이터를 추정하기 위해 구조물을 일정 크기의 요소로 분할을 하고, 각 요소간의 연속성을 보장하기 위해 요소내 일정 부분을 포함하도록 다시 요소를 설정한다. 설정된 요소내 포함된 TLS를 통해 획득한 3차원 좌표 정보를 이용하여 회귀분석을 실행함으로써 데이터 내 포함된 오차를 최소화하며 구조물에 대한 미 획득 부분에 대한 데이터 값을 추정한다. 이렇게 획득된 구조물의 변형 형상은 변위 데이터들 사이의 연속성이 부족하여 응력 평가에 있어 그 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 곡률과 응력과의 관계를 이용하여 위의 과정을 통해 획득한 목적물의 변형 형상을 표현하는 좌표정보에 수치 미분을 적용하여 곡률 값들을 획득한다. 이렇게 획득한 곡률 값들은 변위 데이터들이 갖는 비연속성에 의해 그 값들에 오차를 포함하게 되므로 다시 미 획득 부분의 추정에 사용한 기법을 이용하여 오차를 최소화하는 곡률 값들을 추정하게 된다. 추정된 곡률 값들을 다시 수치 적분을 하여 변형 형상 및 응력을 추정하였다.

3. 실험적 적용 및 분석

3.1. 실험적 적용

제시한 TLS 변위 및 응력 추정 기법의 검증을 위해 그림 1.과 같이 집중하중을 받는 철골 단순보에 본 기법을 적용하였다. 실험에 사용한 구조체는 단면($100\times100\times6/8$), 재질 SS400, 경간 4m의 H형강을 사용하였으며, 철골 보 중앙($L/2$)에 9.66kN의 하중을 가하여 순수 휨 거동이 발생하도록 설계하였다.

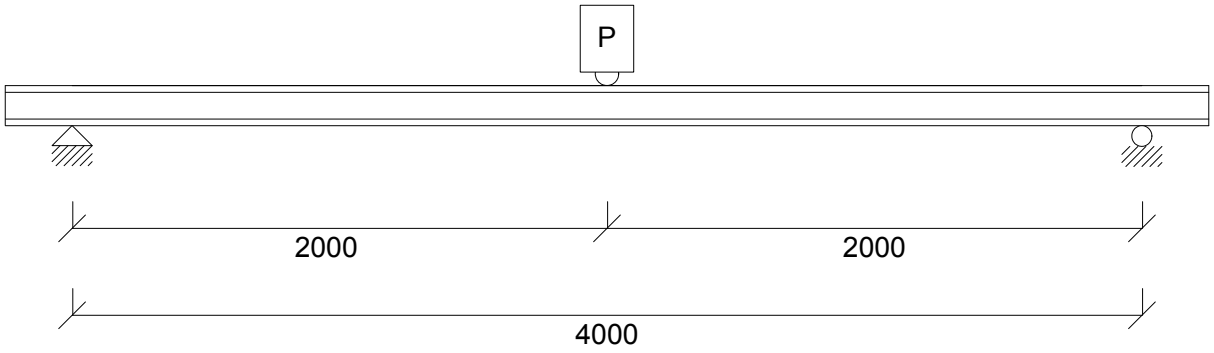
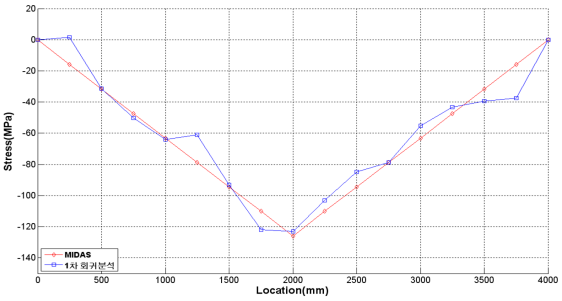
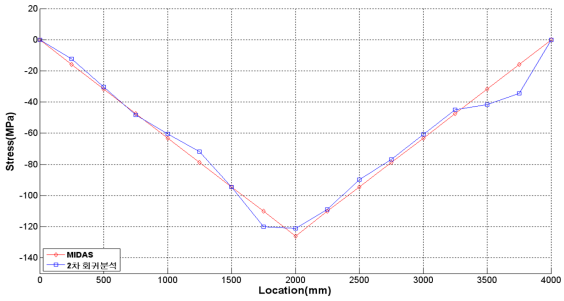


그림 1 실험체



(단위 : MPa)

그림 2-1 기존 연구에 의한 응력



(단위 : MPa)

그림 2-2 본 기법에 의한 응력

그림 2 기존 연구와의 응력 비교

표 1 기존 연구와의 응력 비교

표 1-1 기존 연구에 의한 응력

(단위 : MPa)

	Location	MIDAS	1차 회귀분석	error	relative error
	0	0.00	0.00	0.00	0.00%
	250	-15.80	1.51	17.31	7.37%
	500	-31.50	-31.40	0.10	0.04%
	750	-47.30	-50.30	3.00	1.28%
	1000	-63.10	-63.90	0.80	0.34%
	1250	-78.80	-60.90	17.90	7.62%
	1500	-94.60	-93.10	1.50	0.64%
	1750	-110.00	-122.00	12.00	5.11%
	2000	-126.00	-123.00	3.00	1.28%
	2250	-110.00	-103.00	7.00	2.98%
	2500	-94.60	-84.90	9.70	4.13%
	2750	-78.80	-78.70	0.10	0.04%
	3000	-63.10	-55.30	7.80	3.32%
	3250	-47.30	-43.40	3.90	1.66%
	3500	-31.50	-39.50	8.00	3.40%
	3750	-15.80	-37.50	21.70	9.23%
	4000	0.00	0.00	0.00	0.00%

표 1-2 본 기법에 의한 응력

(단위 : MPa)

	Location	MIDAS	2차 회귀분석	error	relative error
	0	0.00	0.00	0.00	0.00%
	250	-15.80	-12.30	3.50	1.49%
	500	-31.50	-30.20	1.30	0.55%
	750	-47.30	-48.20	0.90	0.38%
	1000	-63.10	-60.40	2.70	1.15%
	1250	-78.80	-71.70	7.10	3.02%
	1500	-94.60	-94.40	0.20	0.09%
	1750	-110.00	-120.00	10.00	4.26%
	2000	-126.00	-121.00	5.00	2.13%
	2250	-110.00	-109.00	1.00	0.43%
	2500	-94.60	-89.70	4.90	2.09%
	2750	-78.80	-76.90	1.90	0.81%
	3000	-63.10	-60.60	2.50	1.06%
	3250	-47.30	-44.90	2.40	1.02%
	3500	-31.50	-41.60	10.10	4.30%
	3750	-15.80	-34.30	18.50	7.87%
	4000	0.00	0.00	0.00	0.00%

3.1. 결과 분석

그림 2-1과 표 1-1은 기존 연구에서 제시한 1번의 회귀분석을 통해 획득한 변위 데이터를 이용하여 그림 1과 같은 실험체에 작용하는 응력을 추정한 것이다(Hong, 2010). 그림 2-2와 표 1-2는 본 연구에서 제시한 2번의 회귀분석을 통해 곡률 값들을 구한 후 획득한 변위 데이터를 이용하여 응력을 추정한 것이다. 그림 2와 같이 응력의 형상에 있어 본 연구에서 제시한 기법을 사용한 경우 보다 유사한 응력의 양상을 추정할 수 있음을 알 수 있다. 또한 표 1을 통해 나타내어진 항복강도 $f_y = 235\,Mpa$에 대한 상대 오차를 비교해 보았을 경우, 기존 연구는 평균 2.85%, 본 연구에서 제시한 기법은 1.80%로 약 1%정도 정밀도가 향상되었음을 확인

할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 TLS를 이용한 보 구조물의 변위 및 응력 추정 기법을 제시하였다. 본 방법은 기존연구에서 나타난 변위 데이터들 간의 불연속성에 의한 응력 추정의 한계를 곡률에 대한 회귀분석을 통해 극복하였으며, 항복 강도 $f_y = 235\,Mpa$ 기준 평균 오차 1.80% 이내의 정밀도로 보 구조물의 응력을 추정할 수 있었다 (Hong, 2010). 또한 제시된 기법의 적용성을 확인하기 위해 1점 집중하중을 받는 단순지지된 철골보에 적용해 보았으며, 그 정밀도를 MIDAS 프로그램을 통해 획득한 응력과 비교해 보았다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원 (과제번호# 09 첨단도시A01)에
의해 수행되었습니다.

참고문헌

홍정범, 이홍민, 박효선 (2010) 레이저 스캐닝 좌표정보로부터 회귀분석 기법을 이용한 구조물의 변위 계측, 한국방재학회 학술발표대회논문집, p. 31-34

Park, H.S., Lee, H.M., Adeli, H. and Lee, I. (2007), A new apporach for health monitoring of structures: Terrestrial laser scanning, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 22, pp.19-30.

Lee, H. M., and Park, H. S. (2008) Estimation of Deformed shapes of Beam Structures using 3D Coordinate Information from Terrestial Laser Scanning, Computer Modeling in Engineering & Sciences, vol. 29, pp. 29-44.