

스마트구조물 계측시스템에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Health Monitoring System of Smart Structure

윤 희 준* 유 병 역** 한 창 평*** 안 형 준****
Yoon, Hee-Jun Yoo, Byung-Eok Han, Chang-Pyong Ahn, Hyung-Joon

Abstract

Computer programs for a structure design help the optimum design that considers each condition. however, the findings can not explain accurately a behavior of the real-living structure because each condition of a structure is simplified and generalized. The smart structure is introduced to overcome these problems, and we can understand a behavior of the real-living structure by means of Health Monitoring System. In this study, we compare a behavior by means of the existing structure design with a behavior of the living structure by means of an experiment. As a result, we examine adequacy of a measuring system and developing possibility in the future.

요 지

구조물을 설계할 때 사용하는 컴퓨터 프로그램들은 구조물에 작용하는 각각의 조건을 고려한 최적의 설계를 할 수 있도록 도움을 준다. 하지만 컴퓨터 프로그램은 단순화시키고 일반화시킨 조건들을 적용하기 때문에 그 결과들은 실제 구조물의 거동을 정확히 설명할 수 없다. 이러한 문제점들을 극복하기 위해서 도입된 것이 스마트 구조이고 스마트 시스템을 통해 구조물을 상시 계측함으로써 실제 구조물의 정확한 거동을 파악할 수 있다. 본 연구는 실험을 통해 기존의 구조설계방법에 의한 구조물의 거동과 실제 구조물의 거동을 비교하여 계측시스템의 타당성 검토와 함께 앞으로의 발전가능성을 알아보고자 한다.

Keywords : Smart Structure, Structure Health Monitoring System, Sensor Design

핵심 용어 : 스마트구조, 자동자기진단시스템, 센서설계

* 학생회원, 건국대학교 석사과정

** 정희원, 강남대학교 도시·건축공학부 교수

*** 정희원, 한성종합기술단 연구소장

**** 정희원, 건국대학교 건축공학부 교수

E-mail : yhj3159@korea.com 02-456-7184

•본 논문에 대한 토의를 2006년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 2006년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재는 인류의 미래를 주도할 첨단 산업기술인 6T가 주목받고 있는 시대이다. 정보기술 IT, 생명공학기술 BT, 나노기술 NT, 환경공학기술 ET, 우주항공기술 ST, 문화콘텐츠기술 CT가 바로 그것이다. 그러나 우리는 이러한 6T가 존재하기 위한 기본환경을 제공하는 공간의 개념을 간과하고 있다. 따라서 그러한 공간을 이루는 구조물의 스마트화 기술 Smart Structure Technology(이하 SST로 쓴다)가 포함되어 7T로 표현되어야 할 것이다. 수많은 정보가 디지털화되고, 건물이 인텔리전트화 되는 이 시대에 구조물의 스마트화 기술은 다른 분야의 첨단기술에 비해 시작이 늦은 만큼 부족한 실정이다.

구조설계시 사용되는 프로그램은 구조물에 작용할 것이라고 예상되는 조건을 고려하여 최적의 설계를 할 수 있게 하지만 단순화시키고 일반화시킨 조건들을 적용하기 때문에 실제 구조물의 거동을 정확히 설명할 수 없고, 준공 후 구조거동이 설계와 일치하는지 확인하려는 노력 또한 부족한 실정이다. 예를 들어 구조물에 적용하는 설계하중의 경우 실제하중과 근접하게 적용하지만 여러 변수가 작용하는 실제하중과 같을 수 없고 설계 후에, 적용된 설계하중으로 구조물을 유지관리 하는 것은 비과학적인 방법이며 따라서 유지관리가 제대로 이루어질 수 없게 된다. 실제 구조물은 여러 가지 변수 즉, 골조의 비대칭, 불 균질한 재질, 시공오차 등의 조건에 의하여 구조설계시 시뮬레이션한 구조물의 거동과 다르게 나타나기 때문이다. 이에 대한 대책으로 현재 우리나라에서는 스마트 학회 및 학술발표가 광섬유 및 무선 Zig-Bee 시스템 등의 센서를 중심으로 진행되고 있다.^{(1),(2)} 하지만 몇몇 단체와 연구소를 중심으로 실험적으로 진행하고 있어 아직 부족한 상황이다. 반면 외국에서는 현재 교량을 통해 활발히 진행되고 있다.⁽⁵⁾

따라서 본 연구는 일반 골조의 축소모델을 사용하여 센서의 선택 및 적용, 데이터 습득, 정보의 표현, 자가진단 및 경보의 4단계 과정으로 나누어 실험을 계획하

였고, 구조물의 상태를 실시간으로 모니터링할 수 있는 체계를 구현하여 외부자극을 감지하고 평가할 수 있는 스마트 구조에 근접된 시스템 개발을 목적으로 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

스마트 구조의 실현을 위해 실험체는 실험여건을 만족시키면서 입체 구조물의 거동을 쉽게 이해할 수 있는 단 스펠 2층골조인 실구조물의 1/7~1/8정도 축소 모델로 실험을 계획하여 수행하였다.

또한 스마트 구조물의 상시계측 시스템을 네 단계로 구분하여 연구를 진행하였다.

첫 번째 단계는 센서설치 단계로서 가장 일반적으로 사용되는 전기저항식 스트레인 게이지를 사용하였고, 전체적인 구조물의 거동을 파악하기 위해 일정한 등간격으로 센서를 부착하였다. 두 번째 단계는 정보의 습득 단계로서 데이터로거와 스위치 박스를 사용하여 변형도 데이터를 받아들였다. 세 번째 단계는 정보의 표현 단계로서 데이터로거에 의해 표현된 수치 데이터를 컴퓨터상에 표현 및 저장하기 위해 LabView 프로그램을 이용하여 데이터를 저장하고 그래픽화하여 구조물의 상태를 육안으로도 쉽게 판단할 수 있는 인터페이스를 도입하였다. 네 번째 단계는 자가진단 단계로서 거동을 실시간 확인하여 구조물에 심각한 문제가 생겼을 경우 경보를 나타낼 수 있도록 하였다.

2. 스마트구조물 계측 시스템

2.1 스마트구조시스템의 개요

스마트구조(Smart Structure)란 외부 하중과 구조내부의 변화를 구조물 스스로가 감지하고, 평가하여, 살아있는 생물처럼 외부자극에 스스로 대응하는 기능을 가진 구조이다. 스마트 구조(Smart Structure)를 구성하는 중요 요소는 센서, 신호처리, 정보처리, 그리고 자기제어가 될 수 있다. 여기서, 자기제어부분을 제외시킬 때 자동 자기진단시스템(Structural Health Monitoring System)(이하 SHM으로 쓴다)이라고

정의되며 궁극적으로 추구하는 구조물 모니터링 시스템이 된다. 따라서 스마트 구조는 SHM 시스템을 자기제어 할 수 있는 구조라고 말할 수 있다.

2.2 구조물의 특성을 고려한 계측항목 선정

구조물의 형식에는 철근콘크리트구조, 철골구조, 철골철근콘크리트구조, 기타 특수구조 등 매우 다양하다. 이러한 구조물 형식들에 계측시스템을 구축하는 경우, 구조물에 적용이 가능한 일반적인 계측항목은 변형도, 진동, 지진, 처짐, 경사(기울기), 지점부의 반력, 균열, 온도, 침하, 풍향 및 풍속 등이 있는데 그 중 구조물의 상태를 파악하고 적절하게 표현하기 위해 가장 기본이 되는 변형도를 측정하였다.

3. 센서 설계

3.1 기본 센서 설계

보의 경우 보마다 정밀한 측정을 위해서 보를 4등분하여 5개소에 상·하 총 10개를 부착하였고, 기둥은 기둥마다 일반적으로 큰 휨이 작용하는 상·하단부에 내·외측부분 총 4개소에 부착하였다.

3.2 센서 보정

개발된 시스템을 통해 데이터의 보정이 가능함을 확인하기 위해 게이지를 설치 할 수 없는 가력점의 위치를 선택하여 인위적인 오차를 발생시키고 그 값을 보정하였다. 또한 계측시 센서의 기계적 결함에 의한 데이터 오류 발생을 보정하기 위해 다음과 같은 보정식을 사용하였다.

3.2.1 하중 및 구속조건별 모멘트도 일반식

① 집중하중 작용시

집중하중이 작용시 임의의 구속조건하에서 집중하중이 작용하는 위치를 기준으로 모멘트도가 바뀌게 된다. 양쪽을 따로 구분해서 본다면 선형의 직선식으로 표현할 수 있지만, 본 연구에서는 단부에서의 거리 x

를 변수로 한 절대값을 포함한 식으로 간단히 표현하였다. Fig 1, 2는 외력에 의해 휨이 발생될 경우 보의 임의의 위치에서 휨모멘트를 구한 일반식을 나타낸 것이다.

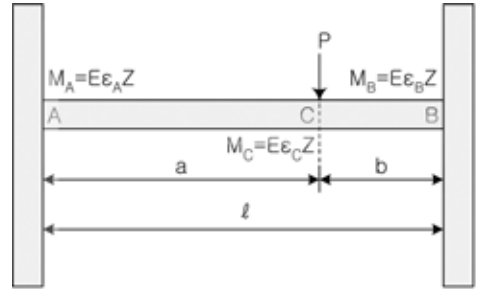


Fig. 1 집중하중이 작용하는 보

$$i) M_x = -\frac{l}{a} |M_C - M_A| |x - a| + M_C \quad (0 \leq x < a) \quad (1)$$

$$ii) M_x = -\frac{1}{b} |M_C - M_B| |x - a| + M_C \quad (a \leq x \leq l) \quad (2)$$

② 등분포하중 작용시

등분포하중이 작용할 때는 휨모멘트도가 곡선 형태로 꼭지점을 중심으로 항상 대칭의 형상을 보인다. 따라서 일관성 있고 동일치수로 표현할 수 있는 삼각함수식을 사용하였다. 단부사이에 변곡점이 없기 때문에 sine함수를 평행 이동한 식을 사용하였다.

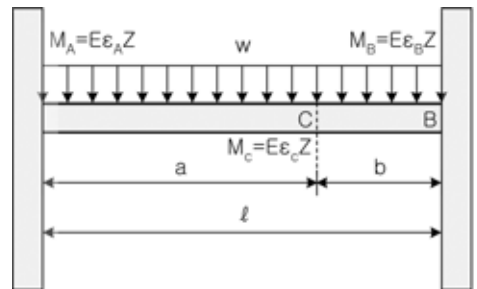


Fig. 2 등분포하중이 작용하는 보

$$M_x = |M_c - M_{A \text{ or } B}| \sin \frac{\pi}{2a} x + M_{A \text{ or } B} \quad (3)$$

($M_{A \text{ or } B}$: M_A , M_B 중 절대값이 큰 값을 취한다)

3.2.2 골조예의 적용 및 센서의 탈락, 손상시 보정 방법

골조에 수직으로 집중하중이 작용할 때는 보의 경우 양단고정보에 집중하중 P가 작용하는 것과 같은 모멘트도 양상을 나타내기 때문에 절대값식을 이용하여 부재의 모멘트식을 유도할 수 있다. Fig. 3, 4는 외력이 작용할 때 골조의 휨모멘트도를 나타내었다.

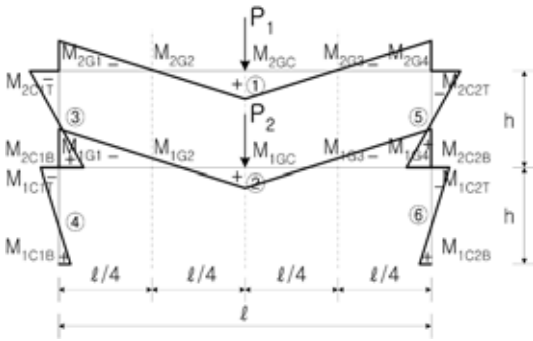


Fig. 3 수직하중이 작용하는 골조

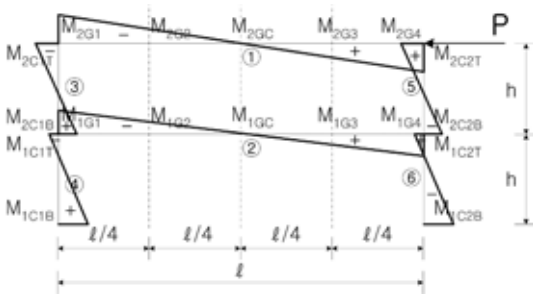


Fig. 4 수평하중이 작용하는 골조

예를 들어 2층 보부재 ① 같은 경우 모멘트식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$M_x = -\frac{2}{l} |M_{2GC} - M_{2G1}| x - \frac{l}{2} + M_{2GC} \quad (4)$$

기둥의 경우는 모멘트가 선형으로 증가 또는 감소하고 있으며 일반식은 단부 두 부분의 모멘트로 유도할 수 있다. 예를 들어 ③ 같은 경우 모멘트식은 다음과 같다.

$$M_y = \frac{1}{h} (M_{2C1B} - M_{2C1T}) y + M_{2C1T} \quad (5)$$

센서의 손상 및 탈락의 경우 보정하는 방법은 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째 동일부재 내에서 센서를 보정하는 경우로 보의 중앙부 센서를 보정하는 경우이다. ① 부재의 경우 보정용 센서 M_{2G2} , M_{2G3} 를 추가로 설치하여 중앙의 센서 M_{2GC} 가 정확하지 않을 경우 중심을 기준으로 왼쪽 센서값 M_{2G1} , M_{2G2} 두 값으로 만들어진 선형식

$$M_x = \frac{4}{l} (M_{2G2} - M_{2G1}) x + M_{2G1} \quad (6)$$

과 오른쪽 센서값 M_{2G3} , M_{2G4} 두 값으로 만들어진 선형식

$$M_x = \frac{4}{l} (M_{2G4} - M_{2G3})(x - l) + M_{2G4} \quad (7)$$

에서 $x = \frac{l}{2}$ 인 부분의 $M_{x = \frac{l}{2}}$ 를 찾아 보정하면 된다. 두 번째 서로 다른 부재의 센서를 비교하여 보정하는 경우로 단부의 센서값 M_{2G1} , M_{2G4} 를 보정하는 방법은 각 절점에서 |보의 모멘트합| = |기둥의 모멘트합|으로 보정할 수 있다. 따라서 골조에 적용된 각 절점에서의 식은 다음과 같다.

$$|M_{2G1}| = |M_{2C1T}|, \quad |M_{2G4}| = |M_{2C2T}| \quad (8)$$

$$|M_{1G1}| = |M_{2C1B}| + |M_{1C1T}| \quad (9)$$

$$|M_{1G4}| = |M_{2C2B}| + |M_{1C2T}| \quad (10)$$

수평하중이 작용하는 골조에서도 같은 방법을 이용하면 보중앙부의 센서와 단부센서, 또는 기둥센서를 보정할 수 있다. 이와 같은 센서를 보정할 수 있다면 각 부재에 대한 일반식을 유도할 수 있으며 부재별 임의의 부분에서의 모멘트 값을 알 수 있다. 또한 모멘트식을 미분함으로써 전단력도를 그릴 수 있다.

4. 실험 계획

4.1 실험체

강재는 SS400 일반구조용 압연강재를 사용하였고 스펀은 2.6m 이며, 층고는 0.55m로 2층 구조물이다. 가력점 및 보기둥 접합부의 국부좌굴과 횡변위를 막기 위해 스티프너로 보강 하였다.

4.2 실험 장치 및 측정방법

하중은 실제로는 자연가진을 해야 하지만 확실한 결과를 확인하고 반복 실험을 위해서 탄성영역의 하중을 산정하여 예상 탄성하중의 30%만 가력 하여 측정 하였다. 하중의 종류는 구조물에서 중요하게 고려되는 풍하중이나 지진하중 등에 의해 발생하는 수평하중을 사용하였다. 기둥상부 접합점을 가력하기 위해 가력점에 롤링 힌지를 사용하고 스티프너 보강된 H-400×400×13×21을 가력빔으로 사용하였으며 가력빔의 수평방향 하중전달을 균등히 하기 위해 가력빔과

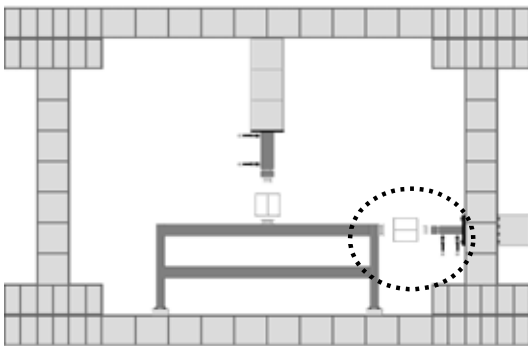


Fig. 5 가력장치

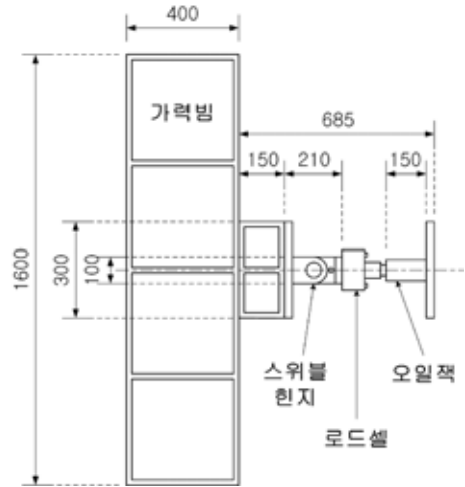
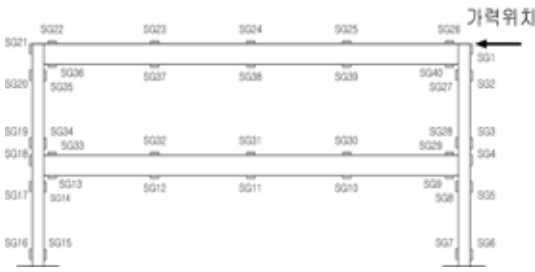


Fig. 6 가력 부분 상세

오일잭 사이에 스위블 힌지를 사용하였다. 오일잭의 두부에 하중계(Load Cell)를 부착하고 이를 데이터 로거에 연결한 후 LabView프로그램을 이용하여 데이터 값을 저장하고 정리하였다. Fig. 5는 가력프레임과 가력장치를 나타내며 실험체의 가력부분상세는 Fig. 6과 같으며 오일잭의 규격은 98 kN이다. 센서의 종류는 스트레인 게이지를 사용하였고, 센서의 부착위치는 보는 1, 2층 모두 4등분하여 20개소에 부착하였고 기둥은 보와의 접합부를 중심으로 20개소 그래서 총 40개소에 스트레인 게이지를 부착하였고, 부재 축의 양쪽면을 모두 측정하였다. Fig. 7에 실험전경과 Fig. 8은 센서 부착위치를 나타내었다.



Fig. 7 실험 전경



· (1)~(40) : Strain Gauge

Fig. 8 센서 부착 위치도

4.3 가력하중 산정

MIDAS 프로그램을 사용하여 구조물의 최초 항복모멘트 (M_y)를 구하고 항복모멘트의 10%, 20%, 30%에 해당하는 하중 즉, 탄성영역내의 하중을 사용하여 결과를 측정하였다. 해석결과 $M_y = 23.62 kN \cdot m$, $P = 213.8 kN$ 이었고 $0.1M_y = 2.36 kN \cdot m$, $0.2M_y = 4.72 kN \cdot m$, $0.3M_y = 7.09 kN \cdot m$ 에 해당하는 하중 $19.6 kN$, $39.2 kN$, $58.8 kN$ 을 가력 하였다.

4.4 재료 실험

강재의 기계적 성질을 파악하기 위해 KS B 0801 규정에 따라 5호 시험편을 만들어 KS B 0802의 금속재료 인장시험방법에 따라 980kN 용량의 만능재료 시험기를 사용하여 항복시까지 초당 약 $4.9 MPa$ 의 응력증가율로 인장강도시험을 실시하였다. 본 실험에 사용된 시험편은 KSD 3503의 압연강재인 SS400으로 시험편 2개를 사용하였다.

Table 1 강재의 인장시험

F_y	F_u	E	ϵ_y	F_y/F_u	연신율(%)
328.3	400.8	2.03×10^5	1,814	80.36	25.9

F_y : 항복강도 (MPa), F_u : 인장강도 (MPa)

ϵ_y : 항복변형도 ($\times 10^{-6}$), E : 탄성계수 (MPa)

F_y/F_u : 항복비

5. 실험결과 및 고찰

5.1 해석결과와 실험결과 비교

5.1.1 모멘트



모멘트도는 변형률계에서 측정된 (변형률)과 재료실험에서 구한 E (탄성계수) 그리고 Z (단면계수)를 사용한 식 $M = E \cdot Z$ 를 이용하여 각 센서위치에서 그 값을 도출하였다. 각 하중별 실험값과 MIDAS 결과값을 비교한 Table 2, Table 3, Table 4에서 $M_M - M_E$ 를 보면 하중이 $19.6 kN$ 일 때 그 오차가 압축 측에서 최대 $-0.38 kN \cdot m$, 인장 측에서 최대 $0.59 kN \cdot m$ 를 나타냈고, 하중이 $39.2 kN$ 일 때는 압축 측에서 $-0.89 kN \cdot m$, 인장 측에서 $1.16 kN \cdot m$ 를 나타냈다. 또한 하중이 가장 큰 $58.8 kN$ 일 때는 압축 측에서 최대 $-1.16 kN \cdot m$, 인장 측에서 최대 $1.85 kN \cdot m$ 만큼 오차를 나타냈다. 오차율은 평균 10%를 나타냈다. Fig. 9에서 하중 $39.2 kN$ 일 때의 모멘트도 양상과 값을 표현하였다.

Table 2 모멘트 비교결과(19.6kN)

(: $M_{M(max)}$, : 보정필요)

하중	부재	모멘트 M (kN m)		오차율(%)
		MIDAS 결과 (M_M)	실험 결과 (M_E)	$\frac{M_M - M_E}{M_{M(max)}} \times 100$
수평	2BL	-1.447	-1.078	-16.91
	2BC	0.028	0.203	-8.02
	2BR	1.502	1.413	4.08
	1BL	-1.730	-1.943	9.76
	1BC	0.015	0	0.69
	1BR	1.759	1.643	5.32
19.6 kN 기둥	1LCT	-1.447	-1.128	-14.62
	1LCB	1.160	1.051	5.00
	1LCT	-0.570	-0.244	-14.94
	1LCB	2.182	1.707	21.77
	1RCT	1.502	0.914	26.95
	1RCB	-1.285	-1.112	-7.93
6 kN	1RCT	0.475	0.152	14.80
	1RCB	-2.167	-1.783	-17.60

Table 3 모멘트 비교결과(39.2kN)

( : $M_{M(max)}$,  : 보정필요)

하중	부재	모멘트 M(kNm)		오차율(%) $\frac{M_M - M_E}{M_{M(max)}} \times 100$	
		MIDAS 결과(M_M)	실험 결과(M_E)		
(39.2 kN)	보	2BL	-2.894	-2.085	-18.54
		2BC	0.055	0.406	-8.04
		2BR	3.004	2.721	6.48
		1BL	-3.460	-3.657	4.51
		1BC	0.030	0.053	-0.53
		1BR	3.519	3.215	6.97
	기동	L2CT	-2.894	-2.210	-15.67
		L2CB	2.320	2.012	7.06
		L1CT	-1.140	-0.503	-14.60
		L1CB	4.364	3.322	23.88
		R2CT	3.004	1.844	26.58
		R2CB	-2.570	-2.118	-10.36
		R1CT	0.949	0.305	14.76
		R1CB	-4.334	-3.444	-20.39

5.1.2 전단력

전단력은 모멘트값을 일반화한 식을 미분한 값으로 볼 수 있으며 모멘트도를 1차식으로 근사했기 때문에 전단력은 상수값을 가지게 된다. Fig. 10은 하중 39.2 kN일 때의 전단력도 양상을 비교한 그림이다.

해석결과와 실험결과를 비교해보면 하중의 크기에 따라 오차는 커지지만 오차율은 큰 변화가 없는 것을 볼 수 있다. 이것은 센서의 초기상태의 오차가 그대로 반영된 것으로 2.3.3절에서 설명한 절점에서의 센서보정식을 사용하여 그 값을 보정할 수 있다. 예를 들어,

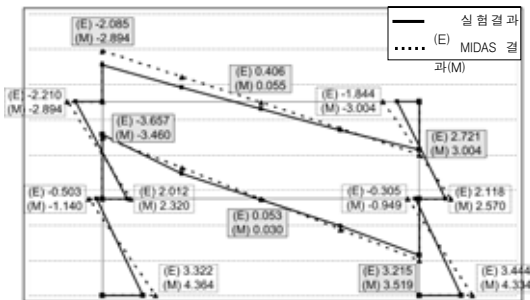




Fig. 9 실험결과와 MIDAS 결과 모멘트 형상 비교

Table 4 모멘트 비교결과(58.8kN)

( : $M_{M(max)}$,  : 보정필요)

하중	부재	모멘트 M(kNm)		오차율(%) $\frac{M_M - M_E}{M_{M(max)}} \times 100$	
		MIDAS 결과(M_M)	실험 결과(M_E)		
(58.8 kN)	보	2BL	-4.341	-3.180	-17.74
		2BC	0.083	0.636	-8.45
		2BR	4.506	4.346	2.44
		1BL	-5.190	-5.830	9.78
		1BC	0.044	0	0.67
		1BR	5.278	4.770	7.76
	기동	L2CT	-4.341	-3.200	-17.43
		L2CB	3.480	3.383	1.48
		L1CT	-1.710	-0.731	-14.96
		L1CB	6.546	5.029	23.17
		R2CT	4.506	2.632	28.32
		R2CB	-3.855	-3.200	-10.01
		R1CT	1.424	0.366	16.16
		R1CB	-6.501	-5.577	-14.12

- M_M - MIDAS 해석에 의한 모멘트
- M_E - 실험에 의한 모멘트

Table 2에서 가장 오차율이 약 27%로 가장 큰 R2CT(0.914)의 경우 식(8)에 의해 2BR(1.413)과 오차가 작아야 한다. 하지만 실제 가력점 위치이므로 센서를 부착할 수 없었으므로 정확한 계측을 할 수 없었다. 따라서 보정식에 의해 R2CT(0.914)는 2BR(1.413)으로 대신하였다. 2BL(-1.078)과 L2CT(-1.128), L1CB(1.707)과 R1CB(-1.783)은 오차율은 상대적으로 크지만 값들이 서로 유사하게 나타났다. Fig. 11에 게이지 부착위치와 명칭을 나타내었다.

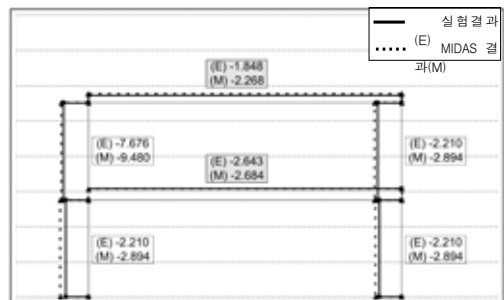
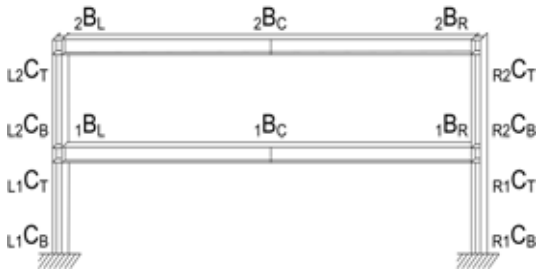


Fig. 10 실험결과와 전단력과 MIDAS 결과 전단력 형상 비교



예) L1CB : Left-1F-Column-Bottom
Fig. 11 결과 비교위치

5.2 습득데이터의 처리 및 표현

센서를 통해서 습득된 데이터는 자동변형도 측정기 (TDS-601A)에 집적된다. 스트레인 게이지는 전기저항식이므로 저항값을 표현하지만 자동변형 측정기에서 이를 수치화시켜 변형도 값을 표현한다. 다음은 GP-IB 케이블을 통해 변형도 값이 컴퓨터로 전송되고 컴퓨터에서는 이 값들을 LabView 프로그램을 이용하여 모멘트 값 등을 응용 처리하게 된다.

5.2.1 변형도를 이용한 습득데이터 표현

Fig. 12와 같이 데이터로거에서 수집한 변형도 데이터를 골조그림에 표현하여 각 부분의 변형도 값과 인장 압축을 확인할 수 있다. 또한 재료의 항복강도시 변형도와 인장강도시 변형도를 미리 입력하고 그에 따른 알람 기능을 도입하여 각 부분의 상태를 파악할 수 있게 하였다. 그리고 데이터 습득의 간격을 조절하고 변형도의 최대, 최소값과 그 위치를 알 수 있게 하였다.

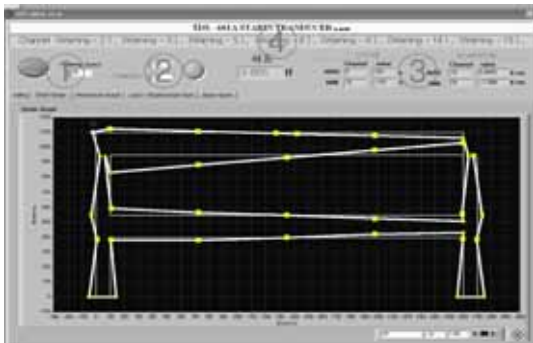


Fig. 12 변형도 그래프 화면

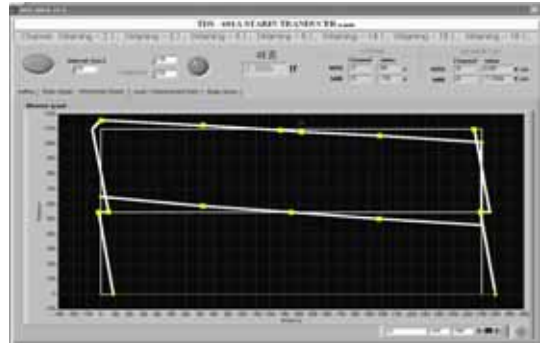


Fig. 13 모멘트 그래프 화면

① 전원 및 측정간격 설정

단기간에 확실한 결과를 얻기 위해 측정간격을 1초로 하여 데이터를 수집하였다.

② 구조물의 위험도 알람 기능

1, 2차 경고의 변형도는 상황에 따라 지정할 수 있으며 본 실험에서는 탄성범위 하중을 고려한 변형도를 예상하여 1차경고 $\epsilon=100$, 2차경고 $\epsilon=200$ 을 입력하여 실험하였고 안정 상태는 검정색으로 1차경고는 노랑색으로 2차경고는 빨강색으로 표시하였으며 1, 2차 경고는 각각의 경고음을 울리도록 설정하였다. 또한 변형도는 인장, 압축을 기준으로 +, - 값을 가지므로 절대값을 비교하도록 하였다. 알람기능은 필요에 따라 그 개수를 변경할 수 있다.

WARNING	100	●	안정상태(100미만)
DANGER	200	●	1차경고(100~200)
WARNING	100	●	2차경고(200이상)
DANGER	200	●	

③ 측정데이터의 최대 최소값(스트레인, 모멘트)

STRAIN			MOMENTUM		
	Channel	value		Channel	value
MAX	27	422 u	MAX	33	14,0695 tf cm
MIN	15	-271 u	MIN	29	-12,4272 tf cm

④ 이상 발생 검출부

센서데이터가 1차, 2차경고의 변형도를 넘었을 경우 그때의 채널과 1, 2차 경고를 (Warning 또는 Danger-센서번호)로 구분하였고 그래프에서도 색을 구분지어 이상 유무를 나타내었다.

Channel (Warning - 1), (Warning - 2), (Warning - 3)

5.2.2 모멘트도 표현

Fig. 13의 모멘트도는 $M = E\epsilon Z$ 를 이용하여 그 값을 골조도에 표현하였다. 그리고 모멘트의 최대, 최소값과 그 위치를 알 수 있게 하였다.

5.3 실험 고찰

실험결과 센서를 통해 전기신호를 습득하였고 습득 데이터는 데이터로거를 이용해서 스트레인 값으로 변환하였다. 변환된 변형도값을 통해 Fig. 12와 같이 스트레인 골조도에서 각 부재의 부위별 인장 압축을 확인할 수 있었다. 또한 스트레인 값을 프로그램에 이용하여 모멘트도로 표현하였고 Fig. 13과 같이 해석결과와 직접 비교할 수 있게 하였다. 하중-변위 그래프에서는 하중에 따른 변위의 증감과 탄성영역 내에서의 구조물의 회복을 확인할 수 있었다. 이상과 같이 습득된 값을 통해서 스트레인 골조도, 모멘트 골조도의 양상을 수치로 확인함으로써 더 객관적인 실험체의 상태를 확인할 수 있었다. 해석결과와 실험결과와는 양상은 비슷했지만 오차가 발생하였는데 그 원인은 센서의 부착 위치의 부정확함을 들 수 있으며 예를 들면 본 실험에서는 가력점에 게이지를 설치할 수 없으므로 인위적으로 오차를 발생시키고 발생한 오차를 제안식을 통해 보정하였다. 또 다른 오차원인은 재료의 기계적 강도 차이, 시공오차 등이 될 수 있다. 이것은 일반화시킨 구조설계 프로그램에서는 확인할 수 없는 사항이며 센서에 의해 실시간 모니터링 함으로서 실제 구조물의 정확한 상태를 알 수 있고 그에 따른 대처를 할 수 있다는 것이 본 실험을 통해 입증되었다.

6. 결 론

이상의 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 구조물의 거동을 실시간 모니터링하여 그래픽화 하였고, 기준값 초과시 1, 2차 경고를 화면과 소리로 구현하였다. 따라서 실제구조물에서 긴급상황 발생시 경고조치에 의해 적절한 조치를 취할 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 모니터링 한 결과 모멘트는 전체적으로 실험결과가 MIDAS결과에 비해서 평균 10%정도 작게 나타났고, 보정된 센서값을 제외하고 보에서 최대 오차는 $2B_1(19.6 kN-0.369 kNm, 39.2 kN-0.809 kNm, 58.8 kN-1.161 kNm)$ 에서 발생했고 오차율은 평균 17.73%로 나타났다. 기둥의 경우는 $1CB(196 kN-0.475 kNm, 392 kN-1.042 kNm, 58.8 kN-1.517 kNm)$ 에서 발생했고 오차율은 평균 22.94%로 나타났다.
- 3) 프로그램을 이용해 이상화하여 해석한 결과와 시공된 실제 구조물의 거동이 수 치상 서로 다르게 나타났다. 따라서 실제 구조물의 거동을 알기 위해서는 직접 측정방식 계측시스템이 필요함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 김성근(1995), "구조물 모니터링 시스템 개발", 한국강구조학회지, 한국강구조학회, 제7권, 제4호, pp. 21~24.
2. 김기수, 노용래, "스마트 센서의 원리와 구조물에서의 응용", 스마트 사회기반시설 연구센터, 2003.
3. 박기태외, "광섬유센서를 이용한 교량안 진단단 기술개발 연구보고서", 한국건설 기술연구원, 2002.
4. 김천근외, "광섬유 센서를 이용한 구조안 진단단 기술 개발", 한국과학기술원, 2002.
5. Fu-Kuo Chang, "Structure Health Monitoring", Stanford University, September, 2003.
6. Aftab Mufti, "Guidelines for Structural Health Monitoring", ISIS CANADA, September, 2001.

급행 (접수일자 : 2005년 12월 1일)