

# 온라인 구조물 계측 시스템을 위한 용접조립 H형강보의 구조적 거동에 관한 연구

## A Study on the Structural Behavior of Welded Built-up H-Beams for On-line Monitoring System

안 형 준\*  
Ahn, Hyung-Joon

### Abstract

Most structures are constantly influenced by repeated weathering phenomena and load action during a period of its utilization, and their component materials become superannuated and their design performance becomes slowly lost.

Therefore, it is thought that it is necessary to develop the online monitoring system that can make a great contribution to the maintenance management and disaster prevention of the building structure by sensing any slight change of the entire structure regardless of its inside and outside. Especially, this study was intended to explain the entire system of the online structure by interpreting welded built-up H-beams, of structural steel members having many advantages in terms of the qualities of structural materials, through limit state design, and presenting the basic plan to apply it to the structure.

**keywords** : the online monitoring system, welded built-up H-beams, limit state design.

### 1. 서 론

모든 구조물은 사용기간 동안에는 안전성과 기능성이 보장되어야 한다. 따라서 이를 위해 구조설계자는 안전하고 현실에 맞는 설계하중을 가정하고 정확한 구조해석을 통해 실제구조물의 거동과 가능한한 근접한 설계를 하려고 노력하게 된다. 그러나, 설계 및 시

공 그리고 유지관리 등의 문제로 인해 상당히 많은 구조물들이 설계시 의도했던 것과는 다른 거동을 보이기도 하고 예상했던 내구연한보다 훨씬 이전에 심각한 열화현상을 보이기도 하고 심지어는 성수대교와 삼풍백화점과 같은 예상치 않았던 구조물의 붕괴사고도 발생한 적도 있다. 더욱이 모든 산업이 과학화, 첨단화되고 있는 추세인데도 불구하고 아직 건축구조부분은

\* 건국대학교 건축공학부 교수, 공학박사  
E-mail : ahnhjung@konkuk.ac.kr 02-450-3453

• 본 논문에 대한 토의를 2002년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2002년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

이를 따라가지 못하고 있는 실정이다. 그렇기 때문에 다중이용시설과 같이 구조안전이 중요시되는 구조물의 경우 구조설계 단계부터 시공 및 유지관리 단계에 이르기까지 구조물의 내구연한 전과정에 걸쳐 구조물 계측 시스템을 적용하는 것이 실용화되어야만 보다 과학적이고 첨단화된 구조설계가 가능하리라 생각된다. 하지만 우리나라의 경우 계측시스템을 몇 몇 교량에 적용한 예는 있으나 아직 그 수준은 매우 낮은 편이고 더욱이 건축구조물에 적용한 예는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 '온-라인 구조물 계측시스템 개발'을 위한 기초적 연구로서 먼저 철골구조물의 주요구조부재인 보요소에 대한 계측시스템개발을 위해 플랜지와 웨브의 판폭두께비를 변수로한 용접조립 H형강보에 대한 휨실험을 실시하여 이로부터 취득한 자료를 이 부분에 대한 연구의 기초자료로 활용하는 것을 목표로 하고 있다.

## 2. 실험

### 2.1 실험계획

용접조립 H형강보의 플랜지의 판폭두께비를 변수로한 실험체 (F-series)와 웨브의 판폭두께비를 변수로한 실험체 (W-series)에 대해 스패를 200cm로 일정하게 하여 중앙 1점 가력하여 휨실험을 실시한다. 각각의 실험체의 단면치수는 Table 1, Table 2와 같으며 가력 및 측정방법은 Fig. 1과 같다.

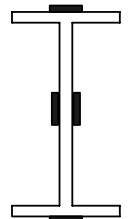
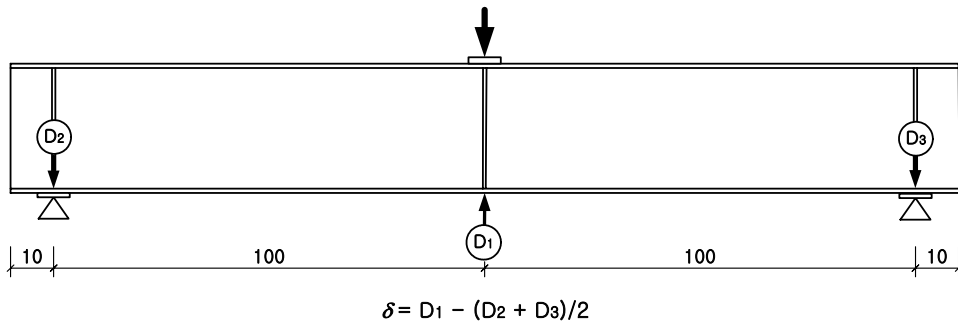
여기서  $\lambda_w = b/t_w$ ,  $\lambda_{pw} = 169\sqrt{F_y}$ ,  
 $\lambda_{rw} = 257\sqrt{F_y}$ ,  $\lambda_f = b/t_f$ ,  
 $\lambda_{pf} = 17/\sqrt{F_{yf}}$ ,  
 $\lambda_{rf} = \frac{43}{\sqrt{(F_{yf}-1.16)/k_c}}$  가 된다.

Table 1 F-series 실험체의 단면치수

실험체명	$H \times B \times t_w \times t_f$	$\lambda_w$	$\lambda_{pw}$	$\lambda_{rw}$	비고
		$\lambda_f$	$\lambda_{pf}$	$\lambda_{rf}$	
F-6-9	300×150×6×9	47.0	104.41	157.28	콤팩트
		8.3	10.5	27.10	콤팩트
F-6-4.5	300×150×6×4.5	48.5	104.41	157.28	콤팩트
		16.7	10.5	26.87	비콤팩트
F-6-3.2	300×150×6×3.2	48.9	104.41	157.28	콤팩트
		23.4	10.5	26.87	비콤팩트

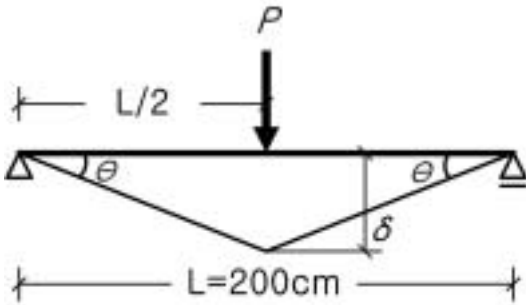
Table 2 W-series 실험체의 단면치수

실험체명	$H \times B \times t_w \times t_f$	$\lambda_w$	$\lambda_{pw}$	$\lambda_{rw}$	비고
		$\lambda_f$	$\lambda_{pf}$	$\lambda_{rf}$	
W-6-9	300×150×6×9	47.0	104.41	157.28	콤팩트
		8.3	10.5	27.10	콤팩트
W-4-9	300×150×4×9	70.5	104.41	157.28	콤팩트
		8.3	10.5	24.66	콤팩트
W-3.2-9	300×150×3.2×9	88.1	104.41	157.28	콤팩트
		8.3	10.5	23.34	콤팩트



스트레인 게이지 부착 위치

Fig. 1 가력 및 측정방법



$$M = \frac{PL}{4}$$

$$\theta \approx \tan \theta = \frac{\delta}{L/2}$$

Fig. 2 중앙집중하중이 작용하는 단순보

## 2.2 실험 결과

### 2.2.1 휨모멘트(M) - 부재회전각(θ) 관계

휨실험으로부터 취득한 하중(P) - 변위(δ)관계를 보다 효과적인 비교를 위해 보부재의 특성을 고려한 Fig. 2와 같이 휨모멘트(M) - 부재회전각(θ)로 나타내어 각각의 실험결과를 비교하였다.

각각의 실험체에 대한 휨모멘트(M) - 부재회전각(θ)의 관계는 F-series의 경우 Fig. 3과 같고 W-series의 경우 Fig. 4와 같다.

### 2.2.2 이상화한 M - θ 관계

각각의 실험체에 대한 휨모멘트(M) - 부재회전각(θ)의 관계를 특성화 하기 위해 Fig. 5와 같이 이상화 하였다.

### 2.2.3 실험결과 비교

각각의 실험결과를 비교하기 위해 다음과 같은 식을 이용하였다.

#### (1) 항복모멘트 ( $M_y$ )

$$M_y = \sigma_y Z \quad (1)$$

여기서,  $\sigma_y$  : 인장시험으로부터 얻은 항복응력도

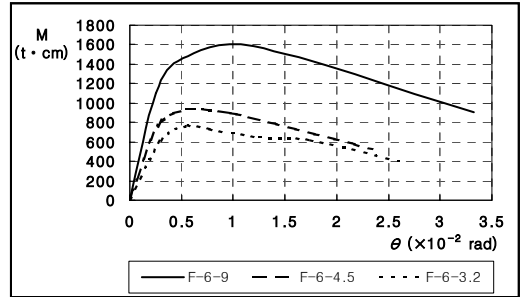


Fig. 3 M - θ curve ( F-series )

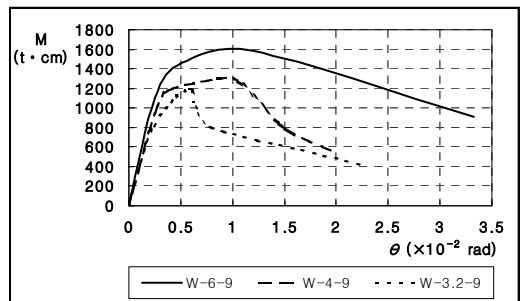


Fig. 4 M - θ curve ( W-series )

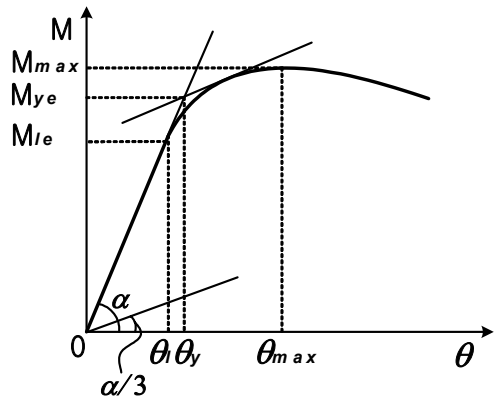


Fig. 5 이상화한 M - θ 관계

Z : 단면계수

#### (2) 전소성모멘트 ( $M_p$ )

$$M_p = \sigma_y Z_p \quad (2)$$

여기서,  $Z_p$  : 소성단면계수

Table 3 실험결과 비교

실험체명		$\frac{M_{le}}{M_y}$	$\frac{M_{ve}}{M_y}$	$\frac{M_{max}}{M_y}$	$\frac{M_{le}}{M_n}$	$\frac{M_{ve}}{M_n}$	$\frac{M_{max}}{M_n}$	$\frac{M_{le}}{M_p}$	$\frac{M_{ve}}{M_p}$	$\frac{M_{max}}{M_p}$
F-series	F-6-9	0.92	1.22	1.22	0.87	1.16	1.25	0.82	1.09	1.18
	F-6-4.5	0.79	1.28	1.27	0.99	1.25	1.21	0.89	1.13	1.09
	F-6-3.2	1.05	1.30	1.30	0.96	1.19	1.19	0.87	1.08	1.08
W-series	W-6-9	0.92	1.22	1.22	0.87	1.16	1.25	0.82	1.09	1.18
	W-4-9	0.83	1.15	1.15	0.80	1.10	1.10	0.76	1.05	1.05
	W-3.2-9	0.74	1.06	1.08	0.74	1.02	1.03	0.69	0.98	1.00

(3) 한계상태설계법에 의한 공칭모멘트 ( $M_n$ )

1)  $\Lambda_p < \Lambda_{pb} \leq \Lambda_r$  인 콤팩트단면일 때

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - M_r) \left( \frac{\Lambda_b - \Lambda_p}{\Lambda_r - \Lambda_p} \right) \right] \quad (3)$$

2) 비콤팩트단면일 때

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \left( \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \quad (4)$$

여기서,  $\Lambda_p = \frac{79}{\sqrt{F_{yf}}} =$  소성한계세장비,

$\lambda_p =$  소성한계판폭두께비

이상으로부터 각각의 실험체에 대한 실험결과를 정리하면 Table 3과 같다.

### 3. 실험결과 분석

#### 3.1 초기구배

탄성역에서의 강성을 나타내는 초기구배는 Fig. 6의 F-series의 경우  $0.97 \leq K_e/K_t \leq 1.05$ 의 분포로 나타나 이론값과 실험값이 거의 일치함을 보였으나 Fig. 7의 W-series의 경우  $0.86 \leq K_e/K_t \leq 1.00$ 의 분포로 나타나 이론값과 다소 차이를 보이고 있음을 알 수 있는데 이는 web의 판폭두께비가 큰 실험체 (W-3.2-9)가 항복내력에 도달하기 전에 web의 국부좌굴이 발생되었기 때문이었기 때문이라고 사료된다.

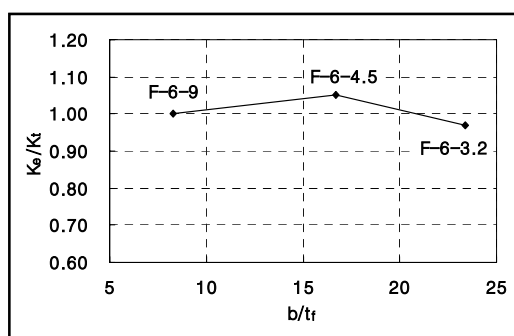


Fig. 6 F-series의 경우

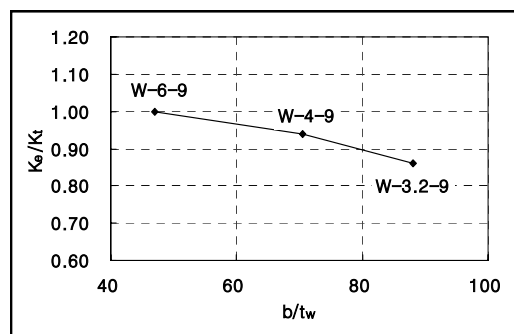


Fig. 7 W-series의 경우

#### 3.2 모멘트 상승률

항복후의 부재의 휨내력의 증가를 의미하는 모멘트 상승률 ( $\frac{M_{max}}{M_y}$ )은 F-series의 경우 Fig. 8에 보여지듯이  $1.300 \leq \frac{M_{max}}{M_y} \leq 1.326$ 의 분포로 나타났고

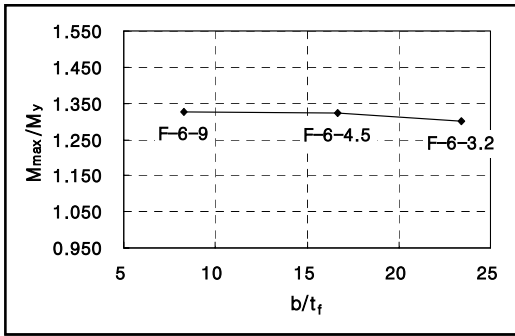


Fig. 8 F-series의 경우

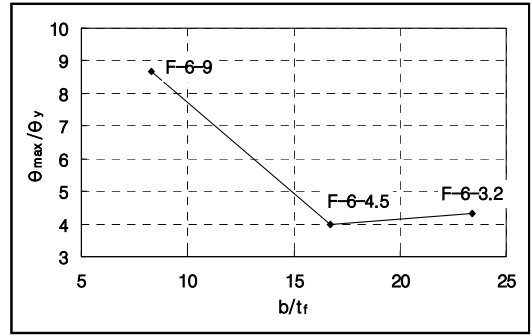


Fig. 10 F-series의 경우

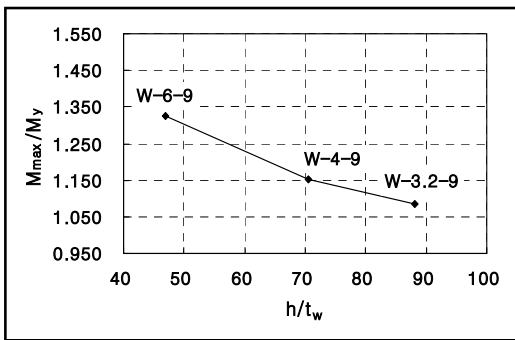


Fig. 9 W-series의 경우

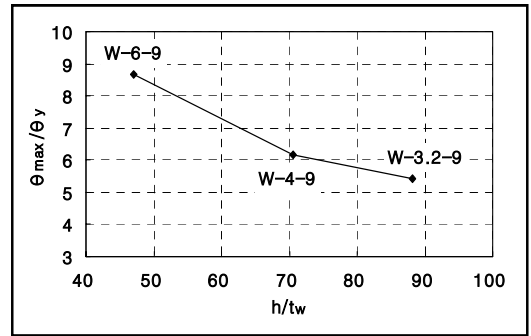


Fig. 11 W-series의 경우

W-series의 경우 Fig. 9에 보여지듯이  $1.084 \leq \frac{M_{\max}}{M_y} \leq 1.326$ 의 분포로 나타나 이로부터 항복후의 모멘트상승효과는 web의 판폭두께비에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 따라서 web의 판폭두께비에 대한 제한은 항복후 모멘트상승효과의 기대값에 따라 세분화할 필요가 있다고 사료된다.

### 3.3 변형능력

항복후 변형능력을 나타내는  $\frac{\theta_{\max}}{\theta_y}$ 는 F-series의 경우 Fig. 10에 보여지듯이  $3.97 \leq \frac{\theta_{\max}}{\theta_y} \leq 8.66$ 의 분포로 나타났고, W-series의 경우 Fig. 11에 보여지듯이  $5.41 \leq \frac{\theta_{\max}}{\theta_y} \leq 8.67$ 의 분포로 나타났다.

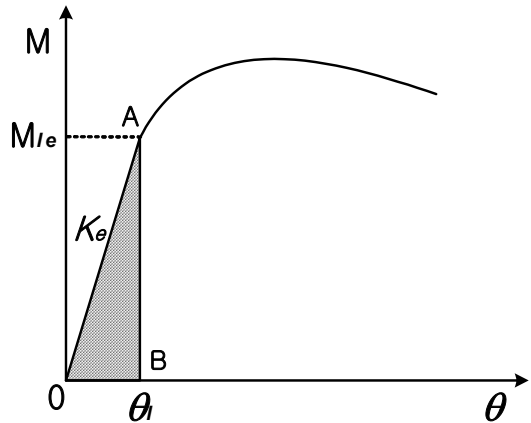


Fig. 12 선형에너지 흡수능력

### 4. 초기구배에 따른 선형에너지 흡수능력

선형에너지 흡수능력 ( $w_e$ )은 Fig. 12에서  $\triangle OAB$ 의 면적으로

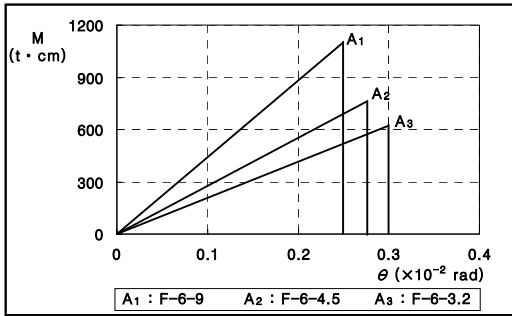


Fig. 13 F-series의 경우

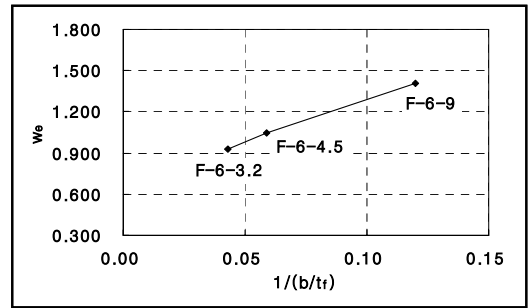


Fig. 15 F-series의 경우

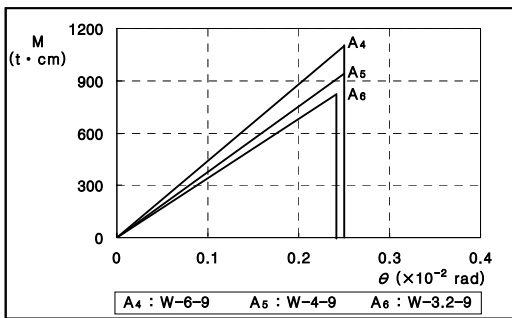


Fig. 14 W-series의 경우

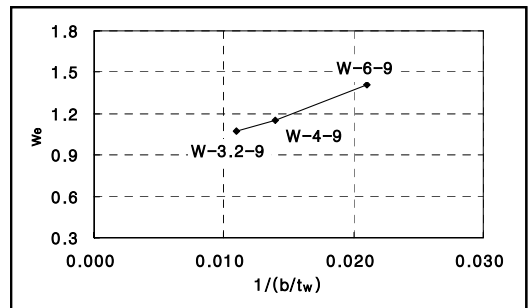


Fig. 16 W-series의 경우

$$w_e = \frac{1}{2} M_{le} \theta_l \quad (5)$$

여기서,  $M_{le}$ : 선형최대모멘트

$\theta_l$ : 선형최대부재회전각

각각의 실험체의 선형에너지흡수능력은 F-series의 경우 Fig. 13과 같이 나타났고 W-series의 경우 Fig. 14와 같이 나타났다.

선형에너지 흡수능력 ( $w_e$ )은 F-series의 경우  $0.93 \leq w_e \leq 1.41$  의 분포로 나타났고 W-series의 경우  $1.07 \leq w_e \leq 1.41$  의 분포로 나타났다. 이로부터 판폭두께비에 따른 선형에너지 흡수능력에 대한 예측식은 다음과 같이 구할수 있는데 플랜지의 판폭두께비에 따른 선형에너지 흡수능력 예측식은

$$w_e = 6.103 \frac{1}{b/t_f} + 0.679 \quad (6)$$

이 되며 웨브의 판폭두께비에 따른 선형에너지 흡수능력 예측식은

$$w_e = 34.557 \frac{1}{h/t_w} + 0.680 \quad (7)$$

이 된다.

## 5. 결론

이상으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 탄성역에서의 강성을 나타내는 초기구배는 F-series의 경우  $0.97 \leq K_e/K_t \leq 1.05$  의 분포로 나타나 이론값과 실험값이 거의 일치함을 보였으나 W-series의 경우  $0.86 \leq K_e/K_t \leq 1.00$ 의 분포로 나타나 이론값과 다소 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

2) 항복후의 부재의 휨내력의 증가를 의미하는 모멘트상승률( $\frac{M_{max}}{M_y}$ )은 F-series의 경우  $1.300 \leq$

$\frac{M_{max}}{M_y} \leq 1.326$ 의 분포로 나타났고 W-series

의 경우  $1.084 \leq \frac{M_{max}}{M_y} \leq 1.326$ 의 분포로 나타

나 이로부터 항복후의 모멘트상승효과는 web의 판폭두께비에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 따라서 web의 판폭두께비에 대한 제한은 항복 후 모멘트상승효과의 기대값에 따라 세분화할 필요가 있다고 사료된다.

3) 항복후 변형능력을 나타내는  $\frac{\theta_{max}}{\theta_y}$ 는 F-series

의 경우  $3.97 \leq \frac{\theta_{max}}{\theta_y} \leq 8.66$ 의 분포로 나타

났고, W-series의 경우  $5.41 \leq \frac{\theta_{max}}{\theta_y} \leq$

$8.67$ 의 분포로 나타났다.

4) 선형에너지 흡수능력 ( $w_e$ )은 F-series의 경우  $0.93 \leq w_e \leq 1.41$ 의 분포로 나타났고

W-series의 경우  $1.07 \leq w_e \leq 1.41$ 의 분포로 나타났다.

5) 선형에너지 흡수능력 예측식은 다음과 같다.

i) 플랜지의 판폭두께비를 변수로 할때

$$w_e = 6.103 \frac{1}{b/t_f} + 0.679$$

ii) 웨브의 판폭두께비를 변수로 할 때

$$w_e = 34.557 \frac{1}{h/t_w} + 0.680$$

#### 참 고 문 헌

1. 안형준, “용접조립 H형강 보의 내력 및 변형에 관한 연구”, 건국대 대학원, 1984
2. 안형준, “철골 구조물의 안전진단”, 구미서관, 2000
3. 한국강구조학회, “강구조의 설계”, 구미서관, 2000
4. 한국강구조학회, “강구조공학”, 구미서관, 2000
5. Cheung, M. S., Tadros, G. S., Brown, T., Dilger, W. H., Ghali, A. and Lau, D.T., “Field monitoring and research on performance of the Confederation Bridge”, Can. J. Civ. Eng., Vol. 24, 1997, pp.951-962.
6. HBM, “Measurement of strains and temperature responses in reinforced concrete walls.”, reports in applied Measurement, Mar.,
7. Heo, G., Wang, M. L. and Satpathi, D., “Optima transducer placement for health monitoring of long span bridge”, Soil Dynamics and Earth quake Engineering, Vol.16, 1997.
8. Wipf, T.J. “Use of tilt sensing equipment for monitoring long-term bridge movement”, Can J. Civ. Eng., Vol18, 1991, pp.1033-1046.

(접수일자 : 2002년 1월 10일)