

손상평가 기법을 이용한 Hi-Form 접합부의 강성평가

Evaluation of the Stiffness of Hi-Form Joint Using Damage Detection Method

장극관* 천영수** 강우주***
Chang, Kug-Kwan Chun, Young-Soo Kang, Woo-Joo

Abstract

This paper provides the results from evaluating the stiffness of Hi-Form joint by an experiment and the system identification method using the dynamic modal data, and the reasonable modeling method of Hi-Form joint which is proposed for improved stair construction recently. Based on the crack pattern and load-displacement relationship and the damage distribution, it can be judged that Hi-Form joint can't fully transfer the forces between the elements linked, and we propose that the joint is modeled as a element which have a stiffness with 50% decrease.

요 지

본 연구에서는 최근 계단공사의 시공성 개선을 위하여 새롭게 제안된 Hi-Form 접합부를 대상으로 동특성 정보를 이용하는 계확정기법을 응용하여 접합부의 강성평가를 수행하였으며 해석 시 동 접합부의 합리적인 모델링기법을 제시하였다. 실험 및 해석결과, 균열패턴 및 하중-변형관계 그리고 손상분포로부터 Hi-Form 접합부는 완전한 응력전달을 위한 강접합으로 간주하기 어려운 것으로 나타났으며, 실험결과에 근거하여 Hi-Form 접합부를 약 50%의 강성감소 요소로 모델링 할 것을 제안하였다.

Keywords : Damage detection, Hi-Form joint, Stiffness evaluation

핵심 용어 : 손상평가, 하이폼 접합부, 강성평가

* 정회원, 서울산업대학교 건축학부 교수, 공학박사

** 정회원, 주택도시연구원 수석연구원, 공학박사

*** 정회원, 서울산업대학교 석사과정

E-mail : kkch@snut.ac.kr 02-970-6567

• 본 논문에 대한 토의를 2009년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 2009년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

거푸집 공사는 일반적으로 전체 공사기간의 약 25%를 차지하여 단일 공종으로는 상당히 긴 공기를 필요로 하는 공사이다. 공사비 측면에서도 전체공사비의 10~15%를 차지하고 있어 구조물의 작업성, 경제성에서 매우 중요한 공사이다. 이러한 거푸집 공사는 아직도 기술 집약적인 산업이 아닌 노동 집약적 산업으로 간주하는 풍토가 만연한 상황이지만, 그 성격상 같은 작업이 반복되기 때문에 공기 단축의 가능성과 효과가 매우 크며, 현장에서의 생산성과 안전성을 획기적으로 개선할 수 있는 여지가 많은 공사라고 할 수 있다. 이러한 특성에 따라 최근에는 거푸집공사에서 가장 난해하고 공기단축에 결정적인 영향을 미치는 계단공사를 대상으로 시공성 개선을 위한 여러 가지 시도들이 제시되고 있다.

Hi-Form 계단 거푸집 공법은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 하이폼렉 슬래브공법과 유사한 구조적 특성을 갖는 일방향 슬래브 구조로 벽체와 계단참이 시공된 후 미리 제작된 계단 경사부재를 양중 장비를 이용하여 조립 설치하는 시스템이다. 동 시스템은 이미 구조적인 안전성과 시공성이 실험과 목업을 통하여 검증된 바 있으나⁽¹⁾⁽²⁾ 설계를 목적으로 한 모델링 시 접합부의 강성을 어떻게 모델링할 것인가 하는 문제는 여전히 숙제로 남아있다. 이 경우 구조물의 동적특성 정보를 이용하는 계확정(system identification)기법은 이 문제에 대하여 하나의 해결책을 제시할 수 있을 것

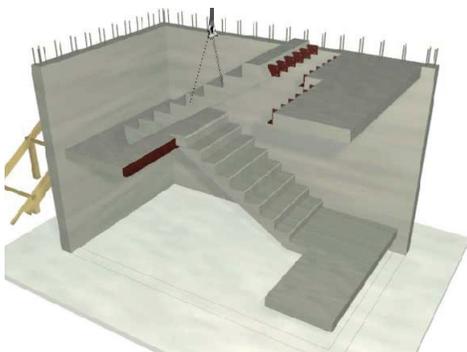


Fig. 1 Hi-Form 계단 거푸집 공법

으로 판단된다. 구조물의 유지관리와 안전에 대한 관심이 높아지면서 구조물의 동적특성 정보를 사용하는 많은 손상추정 기법들이 제안되고 또 수학적인 시뮬레이션을 통하여 그 효용성이 검증되고 있다. 이러한 기법들은 기본적으로는 기존 구조물의 손상추정을 목적으로 개발된 것이지만 계확정 문제, 모델수정(model updating), 모드확장(mode shape expansion) 등과 같은 여러 실용적인 문제에도 응용이 가능하다.

따라서 본 논문에서는 최근 현장계측 데이터의 오차와 대형구조물이 가지는 수많은 자유도의 한계를 극복하면서 건축구조물에 효과적으로 적용 가능한 방법으로 제시된 천영수 등⁽³⁾의 손상추정 기법을 적용하여 Hi-Form 계단 거푸집 공법에 의한 계단구조의 접합부 강성을 적절히 모델링하기 위한 가이드라인을 제시하고자 한다. 여기서 적용코자 하는 손상추정 기법은 고유진동수와 모드형태와 같은 구조물의 동적특성이 구조물의 손상과 연계되어 변화한다는 기본적인 가정을 바탕으로 한 기법이다. 따라서 이 기법의 구현을 위해서는 현장계측 정보와 해석적인 모델을 필요로 한다.

본 연구에서는 Fig. 2에서와 같이 Hi-Form 계단 접합부를 포함하는 보 실험체를 제작하여 대상구조물을 실험실 실험이 가능하도록 구성하였으며, 구조물의 손상은 단계별로 증가하는 정적하중을 가력하여 도입하고, 주요 하중단계별로 모달실험을 실시하여 구조물의 동적특성을 계측하였다. 접합부의 강성평가는 먼저 실험체의 해석모델을 FEM에 의해 구성한 후, 무 손상상태에서 탄성계수와 균열 단면2차모멘트의 변화를 적용하여 기준 모델을 만들고, 정적실험으로 손상을 도입한 후 손상추정 알고리즘을 이용하여 각 구간별 손상지수를 결정함으로써 접합부의 강성을 평가하였다.

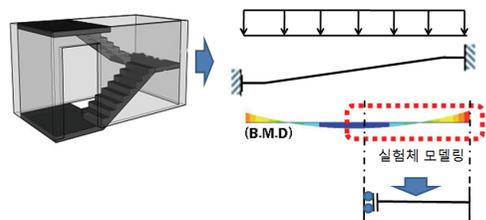


Fig. 2 연구대상 구조물

2. 실험

연구목적에 따라 실험은 정적실험과 동적실험으로 나누어 실시하였다. 정적실험은 실험체에 손상을 도입하기 위한 것으로 무손상 상태에서부터 파괴 시까지 단계별로 하중을 재하 하였다. 동적실험은 손상단계별 실험체의 동적특성 변화를 측정하기 위한 것으로 각 하중단계별로 정적실험이 수행된 후 실시하였다.

2.1 실험체

실험체의 형상은 Fig. 2에서와 같이 모멘트의 분포를 고려하여 캔틸레버 형태로 계단의 이상화된 모델을 구축하였으며, 실험실 조건에 맞게 폭 600mm, 길이 1,900mm 두께 180mm로 계단참과 계단을 연결하는 접합부를 포함하여 구성하였다. Hi-Form 계단 접합부는 슬래브 내에 매립된 트러스근에 연결된 철판에 의해 볼트로서 연결되는 방식으로 상세는 Fig. 3과 같다.

실험체 제작은 접합부를 제외한 나머지 부분을 먼저

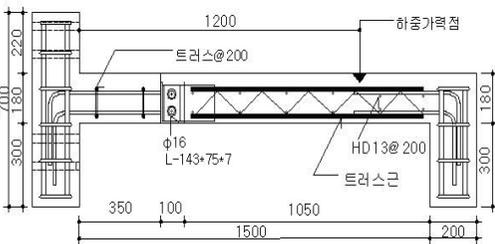


Fig. 3 실험체 배근상세

Table 1 콘크리트 압축강도

구분	실험시강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)
슬래브	21.5	20,100
접합부	24.8	20,300

Table 2 철근 인장강도

구분 종류	항복강도 (MPa)	최대강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	연신율 (%)
Φ 6	512.21	556.79	2.00*10 ⁵	8.30
D13	460.97	644.40	1.94*10 ⁵	25.95
PL-7	330.81	399.01	2.10*10 ⁵	22.41

시공하고, 10일후 접합부를 따로 타설하였다. Table 1과 Table 2는 실험체 제작에 사용된 콘크리트와 철근의 재료시험 결과를 나타낸 것이다.

2.2 실험방법

2.2.1 정적실험

실험체 설치는 실제 계단에서의 응력상황을 똑같이 모사하기 위하여 Fig. 4에 나타난 바와 같이 벽체와 계단 접합부 부분을 프레임에 볼트로 고정하여 고정단을 형성하고, 오른쪽 끝부분은 모멘트는 구속되고 상하 이동이 자유로운 이동단을 구성하였다.

하중은 이동 단으로부터 300mm 떨어진 지점에 집중 하중으로 가력 하였으며, 실험체의 항복하중(28.0 KN)을 고려하여 Table 3과 같이 단계별로 재하 하였다.

2.2.2 동적실험

동적실험은 재하단계별 정적하중에 따른 손상으로 인한 실험체의 동적특성 변화를 추적하기 위한 것으로 Table 3에 나타난 바와 같이 하중단계별로 재하 (loading) 후, 하중을 다시 제하(unloading)한 상태에서 동적실험을 수행하였다. 이중 1단계 동적실험은 특히 최초 하중을 재하하기 이전에 실시하였는데 이는 손상추정 이론을 적용하기 위한 해석적인 기본모델 구성을 위한 것이다.

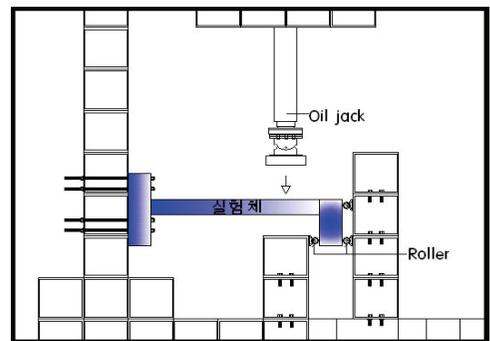


Fig. 4 실험체 설치도

Table 3 재하단계별 정적하중(KN)

하중 단계	0	1	2	3
하중 크기	0	14.2	29.5	64.7

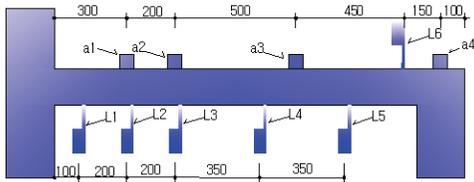


Fig. 5 게이지 설치(a1~a4:가속도계, L1~L5:변위계)

동적하중의 도입은 임팩트해머(impact hammer)를 이용하여 가력하였으며, 집합부를 기준으로 4점에 가속도계를 설치하여 모달정보를 계측하였다. Fig. 5는 가속도계 및 변위계의 부착위치를 나타낸 것이다.

2.3 실험결과

2.3.1 정적실험 결과

정적실험 결과로 나타난 실험체의 균열 상황과 하중-변위 관계를 각각 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 6은 단계별 하중재하에 따른 균열의 진전을 나타낸 그림으로 좌측 고정단 상부 및 집합부 상부에서 초기 균열이 동시에 발생하였다. 이후 모멘트가 크게 작용하는 집합부 오른쪽(경사계단부) 슬래브 하부에도 균열이 발생되었으며, 고정단 상부 슬래브와 경사계단부 하부 슬래브의 균열이 계속 진행되다가 분리 타설된 집합부의 콘크리트가 선 타설된 부분과 분리되면서 집합부의 균열이 급속히 진행되었다. 집합부에서는 균열이 크게 진전되었지만 연결철판이 응력을 부담하면서 이곳에 파괴가 집중되지 않고 경사계단부 하부와 고정단 상부의 균열을 계속 진행시켰으며, 최종적으로는 최대 모멘트가 작용한 좌측 고정단에서 휨 파괴로 실험이 종료되었다.

Fig. 7은 하중재하 단계별 실험체의 처짐을 나타낸 것으로, load 0, load 1은 각각 실험체 설치 시와 초기 균열 발생시의 처짐이며 최대 5.7mm이하로 나타났다. load 2 및 load 3은 각각 부재의 항복 및 최대 내력 도달 시에 측정한 처짐으로 집합부를 중심으로 좌측인 고정단(계단참) 부분의 처짐은 17mm이하인 반면, 우측인 이동단(경사계단부) 부분은 곡선 기울기의 급격한 변화로 항복 시 약 24mm, 최대내력 시

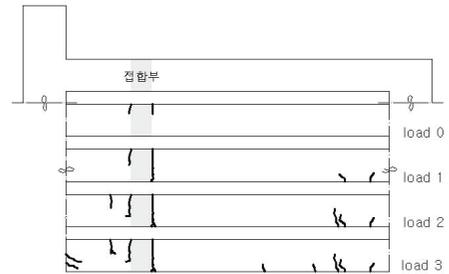


Fig. 6 단계별 균열상황

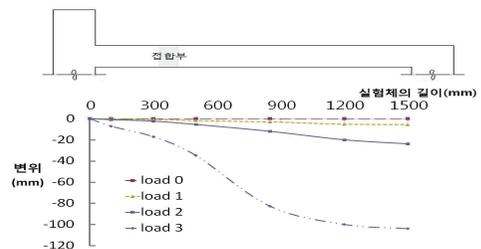


Fig. 7 단계별 처짐 곡선

104mm까지 처짐이 발생하여 집합부에 큰 손상이 발생한 것으로 나타났다.

2.3.2 동적실험 결과

동적실험 결과로서 하중단계별 고유진동수의 변화를 Table 4와 Fig. 8에 나타내었다.

Table 4 손상에 따른 고유진동수(Hz)

하중단계	0	1	2	3
1차 모드	16.4	15.1	14.1	10.9
2차 모드	124.0	120.0	116.0	96.1
3차 모드	409.0	402.0	374.0	308.0

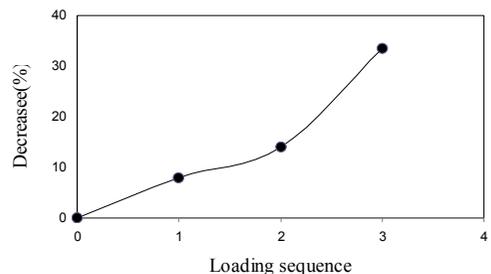


Fig. 8 하중단계별 고유진동수의 감소율

Table 4와 Fig. 8로부터 첫 번째 재하이후 고유진동수의 급격한 감소로부터 손상의 큰 진전이 있었음을 알 수 있으며, 이러한 고유진동수의 변화가 2.3.1절에서 살펴본 균열양상과 잘 일치하고 있다는 점이 주목된다. 이는 고유진동수의 변화로부터 손상의 추정이 가능함을 말해주는 것이다. 흥미 있는 사실은 균열의 발생으로 손상이 크게 진전되었음에도 불구하고 첫 번째 재하에서는 처짐이 크게 관측되지 않았으며, 두 번째 재하에서 초기 생성된 균열이 심화되면서 큰 처짐이 발생하였다는 점으로 처짐의 관측만으로는 부재의 내재적인 손상을 쉽게 판독하기 어렵다는 사실을 시사하고 있다.

Fig. 9는 하중단계별로 변화하는 1차 모드의 형태를 도식화하여 나타낸 것이다. Fig. 9로부터 구조적인 손상은 고유진동수뿐 아니라 모드형태에도 영향을 미침을 확인할 수 있으며, 상대적인 모드의 변화가 손상영역을 중심으로 이동하고 있다는 것을 확인할 수 있어 역시 손상추정에 모드형태의 변화가 사용될 수 있음을 시사하고 있다.

3. 손상추정 알고리즘

본 논문에서 사용된 손상추정 알고리즘은 최근 건축 구조물을 대상으로 현장에서 계측 가능한 최저차의 고유진동수와 모드형태만을 이용하여 국부적인 손상추정이 가능한 기법으로 제시된 direct damage detection algorithm(DDA)⁽³⁾을 수정, 보완한 것(MDDA)이다.

연구대상 구조물의 경우, 국부적(Local)이란 말은 개개 부재단위가 아니라 절점을 기준으로 한 구간 단

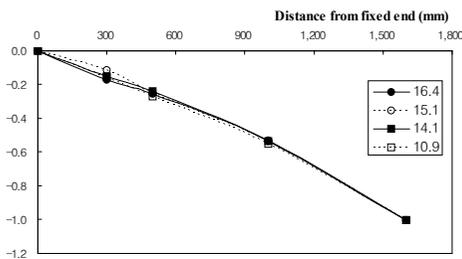


Fig. 9 하중단계별 1차 모드형태의 변화

위를 칭하는 것이며, 구조손상이란 구간 강성의 감소를 의미한다. 강성의 관점에서 구조물의 손상은 대부분의 경우 탄성계수나 요소의 단면2차 모멘트와 같은 구조계의 물리적인 변수들의 감소로서 표현될 수 있으므로, 정량적인 손상모델은 구조계의 물리적인 변수들의 변화를 통하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta K = \sum_{j=1}^{NL} \alpha_j K_j \quad (1)$$

여기서, α_j 는 j 번째 요소의 손상지수이며, K_j 는 전체 강성행렬에 대한 j 번째 요소의 기여도이고, NL 은 전체 구조요소의 수이다. 손상지수 α_j 는 손상위치뿐 아니라 구조물의 손상도에 관한 정보도 제공할 수 있다. 예를 들어, 구조물의 손상여부를 추정하는 경우, 만약 α_j 값이 영(zero)이 아니라면 구조물 내에 구조적인 손상이 존재하는 것으로 생각할 수 있으며, 손상지수 α_j 의 크기로 j 번째 요소 발생한 손상의 크기를 예측할 수 있다.

DDA기법을 준용한 구간별 손상평가는 다음과 같이 손상지수 α_j 를 포함한 방정식으로 정식화될 수 있다.

$$[D^*][K']\{\alpha_j\} = \omega_j^{*2}[M]\{\psi_j^*\} \quad (2)$$

여기서, $[K]$ 와 $[M]$ 은 원 구조물의 전체 강성행렬과 질량행렬이며, ω_j^* 와 ψ_j^* 는 손상 구조물의 j 번째 고유진동수와 고유벡터이다. 또한 위 첨자(*)로 나타낸 양은 손상된 구조물을 나타내며, 변환행렬 $[D^*]$ 와 $[K']$ 는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$[D^*] = \begin{bmatrix} \phi_{1j}^* & \phi_{2j}^* & \dots & \phi_{Nj}^* & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \phi_{1j}^* & \dots & 0 & \phi_{2j}^* & \phi_{3j}^* & \dots & \phi_{Nj}^* & \dots & 0 \\ & \phi_{1j}^* & \dots & 0 & \phi_{2j}^* & \dots & 0 & \dots & 0 \\ & & \ddots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ & & & \phi_{1j}^* & & & \phi_{2j}^* & & \phi_{Nj}^* \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} K_1 & K_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -K_2 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & K_2 & K_3 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -K_3 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & K_{N-2} & K_{N-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -K_{N-1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K_N \end{bmatrix} \quad (4)$$

결론적으로 손상지수 α_j 는 식(5)와 같이 구할 수 있으며, 이 알고리즘을 적용한 일련의 손상추정 절차는 참고문헌 2에 자세히 제시되어 있다.

$$\{\alpha_i\} = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_N\}^T \quad (5)$$

4. 접합부 강성 평가

4.1 손상 전 평가

실험체 전체 구조물의 동적특성 변화로부터 하중단계별 국부적인 손상의 변화를 추정하기 위해서는 먼저 손상 전 실험체의 동적특성을 적절히 모델링 할 수 있는 해석적인 모델의 구성이 필요하다. 본 연구에서는 실험조건을 고려하여 Fig. 10과 같이 오직 X-Y평면상에서 휨 모드만을 고려하는 2차원적인 보요소로 구성된 5절점 FEM모델을 구성하였다. 해석모델은 DRAIN 2D를 이용하여 모델링되었다.

초기 FEM 모델구성은 Table 1과 Table 2에 주어진 조건에 따라 구성되었으며, 모델의 단면은 Fig. 3에 제시된 바와 같다.

초기 FEM 구성모델을 대상으로 주어진 손상추정 절차에 따라 기준 FEM모델을 얻기 위하여 수정

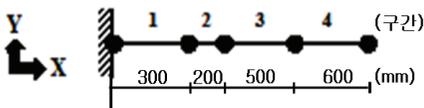


Fig. 10 손상추정을 위한 FEM모델

Table 5 모델수정(updating) 결과

Element No.	1	2	3	4
탄성계수(MPa)	22,110	22,120	22,110	22,110
단면2차모멘트 증감율(%)	100	97	100	100

Table 6 수정모델과 실험결과의 고유진동수 비교

구분	수정모델	실험결과	오차(%)
고유진동수(Hz)	16.28	16.4	0.73

(updating)이 수행되었다. 기준모델의 수정을 위해 필요한 동특성 정보를 얻기 위하여 정적 가력이 수행되기 전에 무손상 상태에서의 동적실험이 수행되었다. 손상추정 알고리즘을 적용하여 계산된 최적의 탄성계수 및 단면2차 모멘트의 구간별 분포는 Table 5와 같으며, 수정된 FEM모델로부터 얻은 고유진동수와 기준 실험으로부터 얻은 고유진동수를 비교하여 Table 6에 나타내었다. Table 6으로부터 고유진동수의 차이는 불과 1% 이하인 것을 알 수 있다. 이는 구성된 FEM 모델이 기준 실험체를 잘 대변하고 있음을 의미하며, 이후 수행될 일련의 손상추정 모델로서 적합하다는 것을 예상한다. Table 1으로부터 탄성계수는 공시체 실험으로부터 얻은 값보다 10% 더 크며, 구간별 강성은 접합부와 슬래브 부분이 큰 차이가 없음을 말해주고 있다. 이는 탄성 영역에서는 현재 제시된 접합부가 강접합 상태와 같이 모델링 되어도 무방함을 의미한다.

4.2 손상 후 평가

실험적인 오차로 인하여 휨 강성을 계측 구간별로 독립적으로 계측한다는 것은 매우 어렵다. 구간별 보요소의 강성변화가 독립적으로 변할 수 있다고 할지라도 측정이나 모델 이산화의 오차로 인하여 실제적인 손상패턴이 항상 보장되는 것은 아니기 때문이다. 이러한 이유로 몇몇 연구자들은 부재 손상패턴의 정식화를 통하여 손상을 평가하는 방법을 제안하였다.⁽⁴⁾ 손상패턴의 정식화가 반드시 좋은 결과를 제시하는 것은 아니지만 결과의 정확성과 신뢰성이 어느 정도 담보되

는 조건이라면 최소한의 미지수를 가지고 손상을 대표할 수 있다는 사실은 매우 매력적인 것이다.

접합조건을 무시한다면 본 실험모델의 경우 실제적으로 구조적인 손상은 어느 특정 부분에 집중된다는 사실은 이미 우리가 알고 있는 사실이다. 따라서 이 경우에도 모든 요소의 손상을 다 계산하지 않더라도 단지 한 개의 대표변수로서 손상의 패턴을 묘사하는 것이 가능하다. 따라서 본 절에서는 먼저 손상함수에 의해 손상을 평가해 보고, 이를 직접적인 구간별 손상 평가방법 및 정적실험에 의한 균열패턴, 하중-변형관계와 함께 비교함으로써 Hi-Form 접합부의 접합특성을 살펴보고자 한다.

접합부가 전·후 요소와 동일한 조건을 갖는다면 실험모델의 경우 손상의 패턴은 휨모멘트의 분포와 비례할 것으로 예상된다. 따라서 휨 강성의 감소는 주로 휨 모멘트의 분포에 비례하여 정식화될 수 있다고 결론지을 수 있으며 다음과 같이 선형적인 손상함수의 제안이 가능할 것으로 판단된다.

$$\alpha_j = \frac{D_j}{1.2} (1.2 - x), \quad 0 \leq x \leq 1.2 \quad (6)$$

Table 7과 Fig. 12에는 식(6)에 의한 하중단계별 강성감소량과 함께 3절에서 제시한 손상평가 알고리즘에 의한 구간별 강성감소량이 제시되어 있다. 3절에서 제시된 알고리즘은 각 요소의 손상이 개별적으로 평가 가능한 알고리즘이므로 손상의 위치와 함께 손상량 또한 평가가 가능하며, 식(6)의 손상함수를 식(2)에 반영하여 수정하면 D_j 값에 대한 평가도 가능하다.

Table 7과 Fig. 12로부터 주목되는 점은 식(5)와 식(6) 모두 접합부 영역인 구간 2의 손상은 유사하게 추정하고 있는 반면, 식(5)는 최대 모멘트 작용 영역인 구간 1의 손상을 작용 모멘트 분포와 비례적인 값

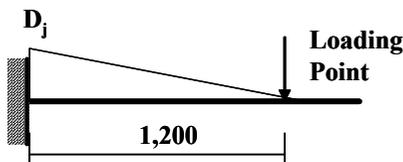


Fig. 11 손상함수

Table 7 실험체의 구간별 강성감소(%)

구간 Load step					
	1	2	3	4	
0	식(5)	2.00	2.80	1.98	0.01
	식(6)	4.53	3.45	1.94	0.43
1	식(5)	15.4	48.4	16.4	14.4
	식(6)	78.4	59.7	33.6	7.5
2	식(5)	26.4	54.9	27.4	25.4
	식(6)	77.9	59.4	33.4	7.4
3	식(5)	56.1	65.4	55.3	49.8
	식(6)	81.5	61.8	34.8	7.7

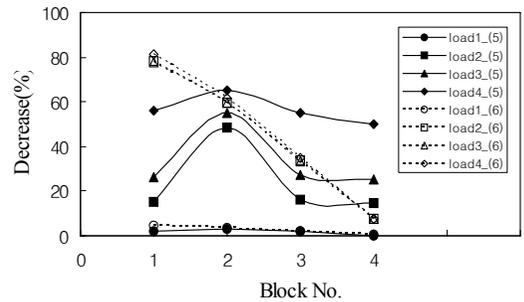


Fig. 12 식(5)와 식(6)에 의한 강성감소량 비교

으로 손상을 가정하는 식(6)과는 다르게 산정하고 있다는 점이다. 이러한 차이는 결국 두 방법에 의한 실험체의 손상평가에 분명한 차이가 있음을 의미한다.

만약 식(6)에 의한 가정이 받아들여 진다면 식(5)에 의한 손상추정은 구간 1의 손상을 크게 과소평가하고 있음을 의미하며, Hi-Form 접합부는 완전한 강체 접합으로서 전·후 구간의 모멘트 전달을 충분한 담당하고 있다고 결론지을 수 있다.

하지만 Fig. 6의 균열분포로부터 손상이 구간 1보다는 구간 2에 집중되고, 이 구간의 균열심화로 파괴가 유도되었다는 이전의 분석결과에 착안한다면 식(6)에 의한 가정보다는 식(5)에 의한 손상추정이 더 설득력을 얻을 수 있을 것으로 판단되며, 이는 곧 Hi-Form 접합부가 식(6)의 가정과는 다르게 전·후 구간의 모멘트를 완전하게 전달하기에 충분한 강접 조건을 형성하지 못하고 있음을 의미한다고 결론지을 수 있다. 식(5)에 의한 강성감소를 살펴보면 실험체의 균열이 뚜렷하게 나타나기 시작한 첫 번째 단계의 하중에서 이미 접합부 영역인 구간 2에서 약 48.4%의 강성이 감소한 것

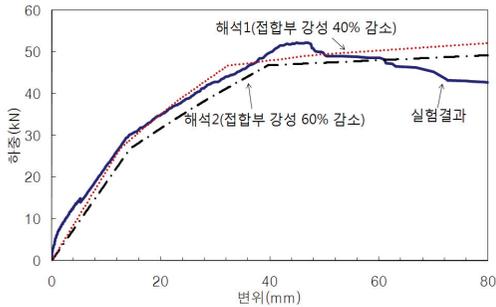


Fig. 13 강성감소 모델의 하중-변형 관계

으로 나타났으며, 철근의 항복을 동반한 두 번째 단계와 최대하중 시에는 약 60%의 강성이 감소한 것으로 나타났다.

Fig. 13은 손상평가로부터 Hi-Form 접합부의 강성을 40%와 60%로 감소시킨 FEM모델로부터 얻은 하중-변형 관계를 실험결과와 함께 도식화하여 나타낸 것으로, 예측된 접합부의 강성감소는 동 접합부를 포함하는 휨 부재의 하중-변위 관계를 큰 오차 없이 묘사 가능함을 보여주고 있다. 비록 제시된 결과가 한 개의 실험체로부터 얻은 결과이므로 충분한 신뢰도를 제공하기 어렵지만 본 연구의 주요 목적 중의 하나는 설계단계에서 필요한 Hi-Form 접합부의 강성을 제안하는 것이므로 Fig. 13의 결과를 토대로 안전측의 예측을 위하여 접합부의 강성을 50%로 감하여 계산할 것을 제안한다.

5. 결론

본 연구에서는 최근 계단공사의 시공성 개선을 위하여 새롭게 제안된 Hi-Form 접합부를 대상으로 해석시 동 접합부의 합리적인 모델링기법 개발을 위하여 동특성 정보를 이용하는 계확정기법을 응용하여 접합부의 강성평가를 수행하였으며, 실험 및 해석결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 균열패턴 및 하중-변형관계 그리고 손상분포로부터 Hi-Form 접합부는 완전한 응력전달을 위한 강접합으로 간주하기 어려운 것으로 나타났다.

- 2) 실험결과에 근거하여 Hi-Form 접합부는 약 50%의 강성감소 요소로 모델링 할 것을 제안한다. 물론 이러한 결과는 한 개의 실험체로부터 얻은 결과이므로 충분한 신뢰도를 제공하기 어렵지만 설계를 위한 기초적인 가이드라인으로서 사용 가능할 것으로 판단된다.
- 3) 본 연구에서 사용된 MDDA 알고리즘은 본 연구에서 실험된 보 타입의 유사구조에서 손상추정을 위한 방법론으로서 충분히 신뢰성을 가지고 모델링될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호#06 건설핵심 B03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이은진, 오영훈, 장극관, 신운식, "선시공 조립식 계단 거푸집 시스템의 Mock-up시공 및 성능계측평가", 한국콘크리트학회 학술발표 논문집, 2007. 11, pp. 981-984.
2. 이은진, 오영훈, 장극관, 신운식, "선시공조립식 Hi-Form 거푸집 공법을 적용한 계단접합부의 전단 및 휨강도 평가", 한국콘크리트학회 학술발표 논문집, 2007.11, pp. 85-88.
3. Kim, H. S. and Chun, Y. S., "Structural Damage Assessment of Building Structures Using Dynamic Experimental Data", Journal of the Structural Design of Tall and Special Buildings, 13, 2004, pp. 1-8.
4. Ren, W. X. and De Roeck G., "Structural Damage Identification Using Modal Data II: Test verification", Journal of Structural Engineering, Vol. 128, No. 1, Jan., 2002, pp. 96-104.

(접수일자 : 2008년 10월 9일)

(심사완료일자 : 2008년 11월 17일)