

각형강관과 H형강보 접합부의 유한요소 모델링에 관한 연구

An Investigation into the Finite element Modelling on connections of H-beam to S · H · S Column

이 종석¹⁾ 변 우정²⁾ 이 광훈³⁾ 강 석봉⁴⁾ 박 순규⁵⁾
Lee, Jong-Seok Byun, Woo-Jeoung Lee, Kwang-Hoon Kang, Suck-Bong Park, Soon-Kyu

ABSTRACT

In recent year, column member is used for square hollow section(S · H · S) and beam member is used for H-section. But S · H · S column has vulnerability because of low flexural stiffness between column and beam cennection joints. To reinforce this vulnerability, S · H · S column filled with concrete and concrete slab connection compounded with H-beam is developed in many ways. In this paper, modelling of predicting behavior of various types of connections is studied using finite element method. In order to simulate the actual behavior, a three-dimensional modelling is used. A simple efficient contact algorithm with a new gap element is employed to simulate the interaction between S · H · S column and concrete. The modelling results are compared with the experimental results.

1. 서 론

최근 건물의 고층화 및 구조설계방식의 개발에 관심이 모아지고 있다. 일반적인 건축구조물에서 철근콘크리트 및 강구조가 차지하는 비중은 상당히 크며 아직까지는 철근콘크리트 구조물이 대부분을 차지하고 있다. 철근콘크리트 건물은 습식구조(R.C구조)로서 열악한 작업환경, 자원 재활용의 불가, 자원고갈로 인한 양질의 골재부족등의 문제를 안고 있다. 따라서 대량생산과 현장조립이 양호한 H형강을 주부재로 사용하는 철골구조가 보편화 되고 있는 추세에 있다. 철골조 건축구조물에서 H형강부재는 강축과 약축이 구별되어 있어 보재로서는 유리한 단면이다. 그러나 기둥재로서는 Bracing이나 Shear Wall을 별도로 설치해야 하는 문제점이 있다. 그러므로 기둥으로서의 H형강에 대한 약점을 보완하기 위해 폐단면이고 강축과 약축의 구분이 없는 좌우대칭 단면을 갖는 기둥으로서 각형강관 부재를 사용하려는 추세에 있다. 그러나 이러한 각형강관 기둥은 H형강 보와의 접합부 형성에서 휨강성 저하라는 취약점을 갖게된다. 이러한 취약점을 보완하기 위해 많

-
1. 울산대학교 토목공학과 교수
 2. 울산대학교 토목공학과 석사과정
 3. 울산대학교 토목공학과 석사과정
 4. 울산대학교 건축학과 조교수
 5. 울산대학교 건축학과 부교수

은 접합부 형태가 국내외에서 개발되고 있다. 이러한 추세의 일환으로서 각형강관에 무근콘크리트를 충전하고 H형강보에 콘크리트스라브를 합성한 접합부를 여러가지 형태로 개발하게 되었다. 각형강관이 압축재로서 사용될때 각형강관 내부에 무근콘크리트를 채우는 방법은 기둥의 단면을 증가시키지 않고도 부재내력을 증가시킬수 있으며 각형강관의 구속효과에 의해 충전콘크리트의 내력상승과 충전콘크리트에 의한 강관의 국부좌굴 보강효과에 의해 부재내력이 상승하고 탁월한 변형성능을 발휘하는 장점이 있다. 이렇게 고안된 접합부는 실제실험을 통하여 그 거동이 파악되었다.⁷⁾ 그리하여 이러한 실제거동이 유한요소 모델링을 통하여 추적되거나 예측되어지는 연구의 필요성이 발생하였다. 본논문은 이렇게 개발되어지고 실험되어지는 각형강관과 H형강보 그리고 충전 콘크리트 각형강관과 콘크리트 합성된 H형강보 접합부의 거동을 유한요소 모델링을 통하여 예측하는 기법을 연구하고자 한다.

2. 각형강관과 H형강보 접합부 모델링

2.1 해석모델 및 과정

본 연구는 각형강관과 H형강보에 대한 용접접합을 대상으로 한다. 각형강관과 H형강보 접합부가 용접접합된 경우 그림2-1과 같이 접합한 보의 단부에 지점을 설치하여 기둥의 중심에 하중을 가함으로서 접합부의 휨이 발생하도록 실험체를 대상으로 모델링하였다. 체논의 수렴성과 정확성을 검토하기 위하여 각형강관과 H형강보 접합부에 대한 모델의 체논을 각형강관의 코너부위를 고려한 것과 하지않은 것, Coarse mesh 와 Fine mesh로 나누어 총 네종류의 3차원 유한요소 체논으로 모델링한다. 각형강관의 코너부위를 고려하지 않은 경우 Coarse mesh는 278개의 절점과 249개의 shell요소로 구성되고 Fine mesh는 976개의 절점과 916개의 shell요소로 구성된다. 코너부위를 고려한 경우 Coarse mesh는 362개의 절점과 327개의 shell요소로 구성되고 Fine mesh는 그림 2-2에 도시된 바와 같이 각형강관과 H형강보 요소는 휨변형과 전단변형을 고려한 4절점 shell요소를 사용하였으며 1198개의 절점과 1132개의 shell요소로 구성되어 있다.

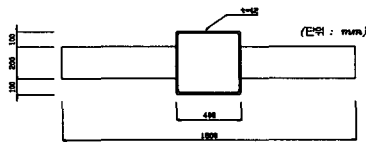


그림2-1 실험체 모형

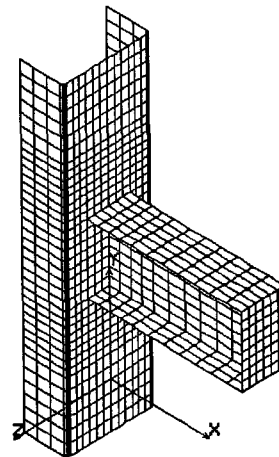


그림2-2 보-기둥 접합부에 대한 유한요소 체논

접합부의 휨변형에 대한 거동을 고찰하는 것이 목적이므로 H형강보와 각형강관에서의 국부적인 파파모드 즉 웹 및 플렌지의 좌굴은 고려하지 않았다. 이에 따라 H형강보는 상대적으로 체논의 크기를 증가시켜 모델링하였다. 각형강관의 플렌지부분에서 H형강보와 맞물리는 부분과 H형강보의 웹과 플렌지 부분의 체논은 서로 연결될 수 있도록 동일한 체논을 사용한다.

표2.2 실험결과와 각 모델type별 해석결과와의 비교

모델TYPE	해석결과			모델K/실험K	모델M _y /실험M _y
	K	M _y	θ _y		
EXPERIMENT	175.7	4.92	0.028	1	1
FDWF	173.7	4.69	0.027	0.99	0.95
FDW	173.9	4.52	0.026	0.99	0.92
CDW	215.5	6.25	0.029	1.23	1.27
CDWF	221.0	6.41	0.029	1.26	1.30

K : 접합부 초기강성 (t-m/rad) M_y : 항복모멘트 (t-m)
 θ_y : 항복 회전각 (rad)

3. 접촉 알고리즘 (Contact Algorithm)

3.1 개 론

접촉현상은 여러개의 부재로 구성되는 구조물에서 흔히 발생하는 현상으로서 구조물의 변형이 크지 않고 재료가 탄성거동을 하는 경우에도 비선형성을 가지는 문제이기 때문에 수치적 해결이 용이하지 않다. 초기에는 이론해를 통한 접근 방법이 주류를 이루었으나 수치 기법의 발달에 따라 유한요소법이 접촉문제의 해를 구하기 위한 주요 도구로 사용되고 있다. 일반적인 유한요소법의 정식화는 변위 자유도에 기초를 두고 이루어지는 바 접촉문제에서는 접촉영역의 변위가 불가입성(impenetrability) 조건에 의해 제한된다. 불가입성 조건이란 한 부재의 표면에 위치한 절점이 다른 부재의 내부로 침범할 수 없다는 조건을 의미한다. 불가입성 조건을 구현하는 방법은 크게 두가지로 구분할 수 있는데 하나는 정식화과정 자체에서 변위제한 조건을 고려하는 것이고 다른 하나는 Gap 요소를 사용해서 접촉하는 영역들을 연결시키는 방법이다.

제한조건을 부여하려면 먼저 접촉 가능한 점들이 정의되어야 하는데 가장 간단한 방법은 접촉이 예상되는 영역에서 쌍을 이루는 절점들을 설정하고 해석과정에서 각 쌍들의 접촉 여부를 검토하는 것이다. 접촉 가능한 점들이 설정되면 제한조건은 다양한 방법으로 구현될 수 있다. Gap 요소의 강성을 보정하는 기본적인 개념은 두 영역의 간격이 떨어져 있으면 강성을 "0"으로 설정하고 접촉하게 되면 강성을 큰 값으로 증가시키는 것이다.

Gap 요소를 이용한 접촉 알고리즘의 장점은 새로운 형태의 미지수나 특별한 해석 기법이 필요없기 때문에 기존의 유한요소해석 프로그램에 쉽게 포함시켜 사용할 수 있다는 것이다. 이에 본 논문에서는 마찰이 포함되지 않은 삼차원 탄소성 접촉문제를 간단하면서도 효율적으로 해결할 수 있도록 새로운 형태의 Gap 요소를 개발하도록 한다.

3.2 Gap을 이용한 접촉 알고리즘

Gap 요소는 크게 Tension Gap 과 Compression Gap 으로 나눌 수 있다. 접촉상태가 압축접촉이나 인장접촉이나에 따라 사용되는 Gap 용도가 달라질 수 있다. 즉 두 요소사이가 서로 압축을 받아 저항할 경우에는 Compression Gap이 사용되고 반면에 두 요소사이가 서로 인장을 받아 저항할 경우에는 Tension Gap이 사용된다. 본 논문에서는 Compression Gap만 사용되었으므로 Compression Gap에 대해서 논하기로 한다. 그림3-1은 접촉면이 포함된 구조시스템을 해석하기 위해 Gap 요소를 도입한 유한요소 모델을 개략적으로 도시하고 있다. Gap 요소는 외부 하중에 의해서 두 영역 A 와 B가 겹쳐지는 것을 방지하는 역할을 제외하고는 영역들의 거동에 아무런 저항을 하지 않는다는 점에서 일종의 가상적인 요소로 정의될 수 있다.

Gap 요소를 사용해서 접촉 문제를 해석하는 과정을 설명하기 위하여 일차적으로 그림3-1에 나타난 하나의 Gap 요소 i 와 j 사이의 부재에 대한 거동을 살펴보면 다음과 같다. Gap 요소는 두

2.2 해석결과 및 고찰

본 장에서는 울산대학교의 실험적 논문을 참고로하여 모델을 선정하였다. 실험적 논문에 나타난 바와 같이 강재의 항복강도는 소재 인장강도 실험(쿠펜테스트)으로 부터 구한 값을 사용하였다. 각 요소의 응력-변형을 관계는 완전탄소성으로 가정하였다. 각형강관과 H형강보의 각 부분에 대한 항복응력과 탄성계수 그리고 프와송비는 표2.1에 나타내었다.

표2.1 모델 규격 및 물성치

	각형강관 코너부	각형강관(플렌지, 웨브)	H형강보
항복응력(kg/cm ²)	4845	3400	3400
탄성계수(kg/cm ²)	2.1 × 10 ⁶		
프와송비	0.3		
각형강관기둥(mm)	□ - 400×400×12×12		
H형강보(mm)	H - 300×200×8×12		

체눈세분화 및 코너부위의 고려 유무가 접합부의 거동에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 총 네가지 모델 즉 CDW, CDWF, FDW, FDWF를 이용하여 해석한다. 모델명에서 첫번째 문자는 체눈의 종류 즉 C는 Coarse mesh, F는 Fine mesh를 의미한다. 중앙의 DW는 용접접합(Direct Welding)을 의미하며 마지막의 F는 코너부위 반경에 대한 유무를 나타내며 Fillet을 의미한다. F가 있는 것은 코너부위를 고려한 것이고 F가 없는 것은 코너부위를 고려하지 않은것이다.

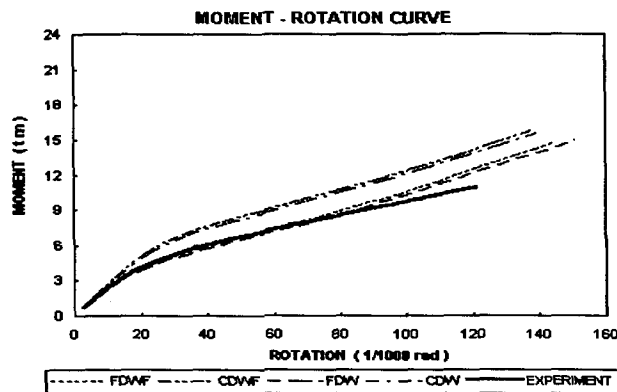


그림2-3 모멘트-회전각 비교 그래프

그림2-3은 해석결과와 실험결과로 부터 얻어진 각 type별 모멘트-회전각 그래프이다. 초기강성은 모멘트-회전각 관계그래프에서 초기접선의 기울기로 나타낼 수 있다. 그래프에서 알 수 있는 바와 같이 초기강성을 비교해 볼때 실험결과와 가장 근접한 것은 FDWF이며 그 오차는 1%미만으로 나타났으며 항복모멘트 역시 FDWF가 실험결과와 5%이내의 오차로 가장 근접하다는 결과를 얻을 수 있었다. 체눈의 종류에 대해서 비교해 보면 Fine mesh가 Coarse mesh에 비해 실험결과에 훨씬 더 접근한다는 것을 알 수 있었다. 코너부위의 고려 유무에 대해서 살펴보면 고려한 경우가 고려하지 않은 경우보다 강성이나 강도면에서 약2~3%정도 높게 평가되는 것을 알 수 있었다. 여기서 알 수 있는 것은 각형강관 코너부위의 고려 유무는 성능평가에 있어서 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 위의 결과를 종합해 볼때 체눈이 조밀하고 코너부위가 고려된것이 가장 실험결과에 근접해 간다는 것을 알 수 있었다. 각 type별 해석결과를 초기강성이나 항복모멘트등 실험결과에 근접한 순으로 놓는다면 FDWF가 가장 근접하며 다음으로 FDW, CDW, CDWF 순으로 나타났다. 실험결과와 각 모델 type별 초기강성, 항복하중에 대한 값들을 정리하여 아래 표2.2에 나타내었다.

영역 A 및 B의 상대적인 거동에 따라 길이가 증가하거나 감소하는 상태가 될 것이다. 결국 Gap 요소의 길이는 두 접촉면 사이의 간격으로 정의될 수 있다. 이 값은 상수가 아니라 접촉문제의 수렴해를 구하는 반복과정에서 계속 변하는 변수가 된다. Gap 요소의 축방향 변형율이 인장축(+)이면 요소의 길이가 증가된 상태(elongated state)임을 의미하며 이때는 Gap 요소가 두 영역의 변형을 구속해서는 안된다. 즉 Gap 요소의 계수 E를 무시할 수 있을 정도의 작은 값으로 설정함으로써 전체적인 거동에 영향을 주지 않도록 해야한다. 반면에 변형율이 압축축(-)이면 요소의 길이가 감소되어 수축된 상태(contracting state)임을 나타내고 변형율의 값이 "-1"에 이르게 되면 요소의 길이가 "0"이되어 두 영역 사이의 간격이 완전히 사라지게 되므로 접촉된 상태(contact state)임을 나타낸다. 결국 변형율이 "-1"보다 작게 되면 한 영역이 다른 영역의 내부로 침범한 형태(overlapped state)가 되어 물리적으로 정의될 수 없는 상태가 되므로 겹쳐지는 것을 방지하기 위하여 요소의 계수를 무한히 큰 값으로 지정해야 한다. 이러한 Gap 요소의 개념은 간단한 접촉문제를 대상으로 흔히 사용되어 왔다. 그러나 기존의 Gap 요소는 두 영역이 접촉하거나 겹쳐질 때 요소의 길이를 설정하는데 어려움이 있다.(그림3-3(E),(F)) 이에 본 논문에서는 기존 Gap 요소의 개념을 보완하여 새로운 형태의 Gap 요소를 제안하고자 한다. 그림3-2는 그림3-1에서 도시한 하나의 Gap 요소에 대한 구성형태를 개략적으로 도시한 것이다.

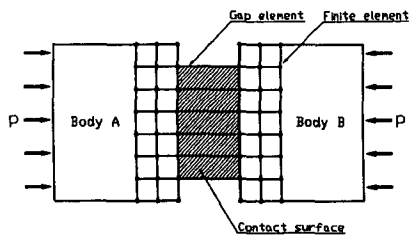


그림3-1 접촉면이 포함된 구조 시스템

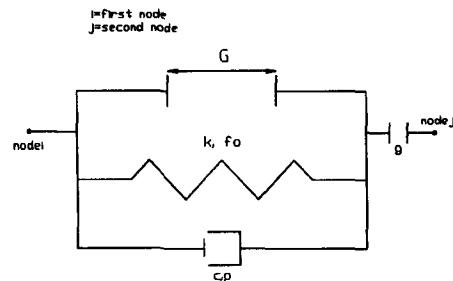


그림3-2 Gap 구성형태

Schematic Deformation		State and Discription	
		General Gap Element	Proposed Gap Element
A		initial state initial gap distance	initial state initial gap distance (G + g)
B		elongated state $\epsilon > 0$ $d > d_0$	seperated state (G + g) < d g > 0
C		contracted state $-1 < \epsilon \leq 0$ $0 < d \leq d_0$	
D		contact state $\epsilon = 0$ $d = d_0$	contact state G = 0 g = 0
E		contact state $\epsilon = -1$ d = 0	overlapped state (G + g) < 0
F		overlapped state $\epsilon < -1$ d < 0	

그림3-3 기존 Gap 요소와 제안된 Gap 요소의 비교

4. 충전각형강관과 H형강보 접합부 모델링

4.1 해석모델 및 과정

본 연구에서 대상으로 하는 충전콘크리트 각형강관과 콘크리트 합성된 H형강보 접합부에 대한 거동을 묘사하기 위하여 3차원 비선형 유한요소 해석프로그램인 COSMOS/M을 이용하여 구조해석을 수행하였다. 그림4-1에서 보듯이 각형강관의 중심축을 기준으로 대칭이므로 전체모델의 반에 대해서만 모델링하였다. 각형강관과 H형강보 요소는 썸변형과 전단변형을 고려한 4절점 Shell 요소를 사용하였으며 접합부의 썸변형에 대한 거동을 고찰하는 것이 목적이므로 콘크리트 합성된 H형강보와 충전콘크리트 각형강관에서의 국부적인 파피모드 즉 H형강보의 웨브 및 플랜지 좌굴을 고려하지 않았다. 이에따라 H형강보는 상대적으로 체논의 크기를 크게하여 모델링하였다. 각형강관 내부의 무근콘크리트는 8절점을 갖는 Solid요소를 사용하였다. 그림4-2와 같이 H형강보에 합성된 철근콘크리트 스라브는 인장을 받는다. 그리하여 스라브 콘크리트는 인장에 전혀 저항을 하지 못한다는 가정하에 스라브철근을 H형강보의 플랜지 폭과 동일하게 가정하고 환산 단면적으로 바꾸어 Shell요소를 사용하였다. H형강보와 스라브가 일체로 거동하게 하기위해 설치해놓은 Stud bolt는 강성이 큰 Beam요소를 사용하였다. 각형강관 내부의 무근콘크리트와 각형강관 사이의 접촉부분을 살펴보자. 즉 접촉상태가 압축접촉이나 인장접촉이냐에따라 압축시에는 각형강관 내부 충전콘크리트가 일체로 거동하지만 인장접촉에서는 별도로 거동한다. 이와같이 거동을 모델링하기 위해 앞에서 언급한 Gap요소가 필요하게 된다. H형강보에 의해 각형강관 플랜지가 내부로 밀려 들어가는 압축력을 받을때 처음에는 압축접촉이라도 나중에는 인장접촉이 될 수 있다. 이에 대한 대안으로서 Gap요소를 이용한 접촉알고리즘을 통하여 구현하였다. 각형강관과 무근콘크리트는 Gap요소에 의해서 연결될수 있도록 접촉면에서 동일한 체논을 사용하였으며 두 요소사이의 마찰은 고려하지 않고 두성분은 썸변형에 의해서 연속성을 유지하게 하였다. 강재의 항복강도는 쿠펜테스트 결과를 각성분의 재료성질로 이용하였으며 각형강관과 H형강보의 탄성계수는 $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, 프와송비는 0.3으로 하였고 콘크리트의 탄성계수는 $2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, 프와송비는 0.17로 하였다. 재료적 비선형을 고려하기 위하여 각요소의 응력-변형률 관계는 완전탄소성으로 가정하였으며 기하학적 비선형도 고려하도록 하였다.

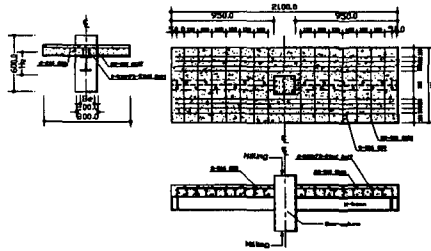


그림4-1 실험체 모형

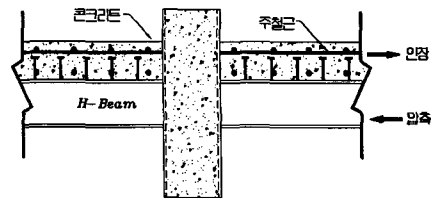


그림4-2 실험체 하중전달도

4.2 실험결과와 해석결과의 비교고찰

부재형태에 대한 제원은 각형강관이 $\square-200 \times 200 \times 6 \times 6$ 이고 H형강보는 H-150 \times 100 \times 6 \times 9(단위 : mm)며 콘크리트 강도는 300 kg/cm^2 , 철근단면적은 15.89 cm^2 이다.

그림4-3에서 보듯이 실선은 실험결과를 점선은 유한요소해석 프로그램에 의한 해석결과를 나타낸다. 그래프상에서 알 수 있는 바와 같이 전반적으로 실험결과와 해석결과가 어느정도 일치함을 알 수 있다. 일반적으로 유한요소법에 의한 해석결과로부터 얻은 초기강성은 실험에서 얻은 초기강성보다 강하게 평가되고 있다. 초기강성을 나타내는 모멘트-회전곡선이 초기 기울기에는 다소 차이가 있으나 전체적인 거동특성은 상당히 잘 일치 하고 있으며 항복하중의 경우는 실험결과가 해석결과보다 2%정도 높게 나타나며 최대모멘트의 경우에는 3%이내의 오차를 보이고 있다. 여기

서 한가지 관찰할 수 있는 것은 실험모델의 항복과정은 각형강관 내부에 충전된 무근 콘크리트의 성질, 부재의 초기변형이나 용접상태, 재료의 경화등 복잡한 관계로 인하여 완만하게 이루어지는 반면에 실제의 모든 사항들을 다 고려하지 못한 유한요소해석 모델링에 의한 해석모델들의 항복과정은 급하게 일어나는 경향이 있다. 이러한 접합부 거동을 유한요소해석을 통하여 묘사하는데 있어서도 부재의 기계적 특성, 각형강관 내부의 콘크리트 고유의 성질등이 해석결과에 상당한 영향을 주기때문에 이에 대한 data확보가 선행되어야 한다.

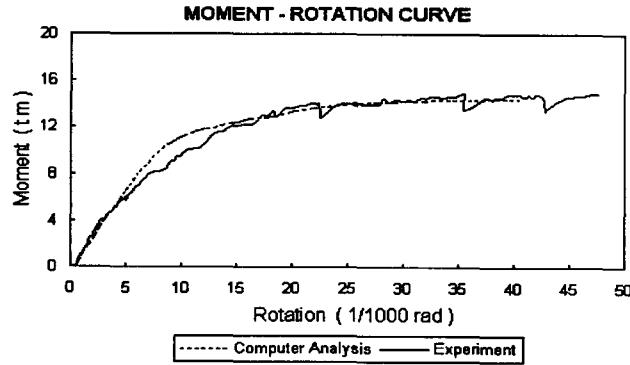


그림4-3 실험결과와 해석결과의 비교(SDW)

실험결과와 해석결과에 대한 비교그래프에 있어서의 주요비교항목인 접합부 초기강성, 항복모멘트, 최대모멘트에 대한 값들을 정리하여 아래 표4.1에 나타내었다.

표4.1 실험결과와 해석결과의 비교

시험 체명	실험결과				해석결과				$\frac{K_{i,c}}{K_{i,e}}$	$\frac{M_{y,c}}{M_{y,e}}$	$\frac{M_{max,c}}{M_{max,e}}$
	$K_{i,e}$	$M_{y,e}$	$M_{max,e}$	$\theta_{y,e}$	$K_{i,c}$	$M_{y,c}$	$M_{max,c}$	$\theta_{y,c}$			
SDW	886.9	11.06	15.04	12.47	1146.19	10.82	14.55	9.44	1.29	0.98	0.97

$K_{i,e}$: 실험에 의한 초기 접합부강성(t-m/rad) $K_{i,c}$: 유한요소 해석에 의한 접합부강성(t-m/rad)
 $M_{y,e}$: 실험에 의한 항복 모멘트값(t-m) $M_{i,c}$: 유한요소 해석에 의한 항복 모멘트값(t-m)
 $M_{max,e}$: 실험에 의한 최대 모멘트값(t-m) $M_{max,c}$: 유한요소 해석에 의한 최대 모멘트값(t-m)
 $\theta_{y,e}$: 실험에 의한 항복 회전변위(10^{-3} rad) $\theta_{y,c}$: 유한요소 해석에 의한 항복 회전변위(10^{-3} rad)

5. 결 론

본 연구에서 각형강관과 H형강보 접합부 및 충전각형강관과 콘크리트스라브 합성된 H형강보 접합부의 비선형 거동에 대해 알아보았다. 비선형해석 프로그램인 COSMOS/M을 통한 해석결과와 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

◎ 각형강관과 H형강보

여러 가지 type별 모델을 제시하여 이중 가장 적절한 모델을 선정하여 해석결과로부터 얻은 초기강성 및 강도, 변형된모습등을 실험결과와 비교분석하였다. 요약해 보면 다음과 같다.

- 1) 각형강관의 코너부위의 반경을 고려할수록 그리고 체눈이 조밀할수록 실험결과에 근접한 해석 결과를 얻을 수 있었다.
- 2) 기하학적 비선형이 비선형 해석에 있어서 미치는 영향은 상당히 크다.
- 3) 각형강관의 플렌지부분이 인장과 압축을 받을경우 중립축의 위치는 대략 각형강관 높이의 절반에 위치한다는 것을 알 수 있었다.
- 4) 접합부의 휨변형에 의한 각형강관의 웹변형도 각형강관의 플렌지변형의 약 30% 정도로 무시할 수 없음을 알 수 있었다.

◎ 충전각형강관과 콘크리트스라브 합성된 H형강보

각형강관 내부의 무근콘크리트와 각형강관에 접합되는 H형강과 H형강위의 합성보라는 이질적인 구조요소들을 유한요소 모델링하여 해석한 결과와 실험결과를 비교분석하였다. 각형강관과 각형강관 내부의 무근콘크리트 사이의 접촉면을 해결하기 위해 Gap이라는 접촉알고리즘을 이용해 두 요소 사이의 인장과 압축에 대해 추적하여 보았다. 이를 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 접합부의 초기접선 강성의 경우 대부분 30%정도의 차이를 보이고 있는데 그 이유는 콘크리트 성질에 대한 특성을 완전히 고려하지 못한 것 같으며 이에 대해 좀 더 정확한 모델링을 해야할 것으로 보인다.
- 2) 각형강관의 두께보다 각형강관 내부의 충전된 무근콘크리트의 강도가 강성이나 강도면에서 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.
- 3) 비선형 유한요소해석 프로그램인 COSMOS/M을 이용하여 충전콘크리트 각형강관과 콘크리트 합성된 H형강보 접합부의 구조적인 거동을 시뮬레이션한 결과 초기강성은 다소 차이가 있으나 전체적인 거동의 경향은 일치하고 있으며 실험값의 항복모멘트와 최대모멘트에 있어서 대부분이 10%이내의 차이를 나타내어 어느정도 잘 일치하는 결과를 나타내었다.

※참고문헌

1. W. F. Chen, E. M. Lui, "Stability Design of Steel Frames" CRC Press, Inc., 1991.
2. Reidar Bjorhovde, Jacques Brozzetti, "Connections in Steel Structures Behaviour, Strength and Design" Elsevier Science Publishing Co., Inc., 1988.
3. W. F. Chen, "Joint Flexibility in Steel Frames" Elsevier Science Publishing Co, Inc., 1987.
4. SAMSUNG Engineering, "A Study on the Structural Characteristics of Concrete Filled Steel Tube Columns" SAMSUNG Engineering and Construction Co., Ltd. Institute of Technology, 1993.
5. M. R. Bahaari, A. N. Sherbourne, "Computer Modelling of an Extended End-Plate Bolted Connection" Department of Civil Engineering, University of Waterloo, 1993.
6. 정기택. "볼트 접합부의 비선형 해석을 위한 수치해석 방법에 관한 연구" 한국과학기술원, 1995.
7. 이광훈. "충전콘크리트 각형강관과 콘크리트 합성된 H형강보 접합부의 휨거동에 관한연구" 토목학술 발표예정, 1995.10.