

반복하중에 대한 웹분리형 다이아그리드 노드의 구조적 특성

Resistance of Web-Separated Diagrid Nodes Subjected to Cyclic Loading

김 영 주¹⁾ · 정 인 용²⁾ · 주 영 규³⁾ · 김 상 대⁴⁾
Kim, Young Ju · Jung, In Yong · Ju, Young K. · Kim, Sang Dae

요약: 다이아그리드 노드의 지진 및 바람에 의한 반복하중에 대한 구조성능을 해석적으로 평가하는 것은 용접특성의 반영이 어려워서 한계가 있다. 이 연구에서는 횡하중을 받는 다이아그리드 노드의 구조거동을 알아보기 위해 다이아그리드의 노드부를 축소한 모형을 이용해 실험을 수행했다. 실험체는 총 5개이며 실험의 변수는 각 부분의 용접방법, 측면스티프너와 가새 웹의 겹침길이이다. 한쪽 대각가새에는 인장력을, 다른쪽 대각가새에는 압축력을 가하는 반복가력 실험을 수행하였다. 실험 결과 주요 파괴 원인은 축력과, 방향이 상이한 두 힘의 합력으로 인한 부가적 모멘트에 의한 작용으로 나타났다. 인장력에 의해서 가새 부재의 플랜지가 파단하였고, 압축력에 의해서 가새 플랜지의 국부좌굴이 일어났다. 또한 겹침길이와 용접타입은 초기 강성, 항복 내력 및 에너지 흡수능력에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

ABSTRACT: The results of the analysis of the structural behavior of diagrid nodes that were subjected to cyclic loads such as wind and earthquakes was not fully understood due to difficulties in considering the welding type. In this study, diagrid nodes were tested to determine their behavior when they are subjected to seismic or wind loads. Five specimens were designed and fabricated. The corresponding test parameters were the welding type for each point and the length of the overlap of the side stiffener and the brace web. Tensile force was applied to one diagrid brace member, and compression force was applied to the other diagrid brace member. Cyclic loading was applied until the failure. The test showed that failures are due to axial stress from axial force and the additional bending moment of the two combined axial forces that have different directions. Tensile failure was observed from the tensile force, and local buckling was observed from the compressive force at the flange of the brace member. In addition, the welding type and the length overlap affected the initial stiffness, the yielding stress, and the energy absorption of the diagrid node.

핵심어: 다이아그리드 구조, 노드, 횡력 저항 능력, 용접방법, 겹침길이

KEYWORDS: Diagrid structures, Nodes, Lateral force resistance, Welding type, Overlapped length

1. 서론

세계적으로 각국의 경제력을 바탕으로 한 랜드마크적인 초고층 건축물의 건설이 증대되고 있는 추세이다. 그 동안 초고층건축물은 각형, 원형 또는 약간의 변화를 준 형태가 대부분이었으며, 건물의 형상보다는 높이를 중점으로 하여 기술이 발전되어 왔다. 그러나 초고층 건축물의 아름다움에 대한 요구가 증대되고, 컴퓨터 기술의 발전에 의해 복잡한 건물의 설계 및 건설이 가능해짐에 따라 최근에는 비틀어지고(twisted), 기울어지거나, (tilted) 경사진(tapered) 형태의

건물들이 건설되고 있다.

이러한 추세를 반영하는 새로운 구조시스템으로서 최근에 대각가새구조(diagrid structural system: 이하 다이아그리드 구조)가 등장하였다. 다이아그리드 구조가 적용된 건물들이 최근 속속 완공되고 계획되어 짐에 따라 이에 대한 관심이 집중되고 있다.

다이아그리드 구조란 대각가새가 부재의 기본모듈인 삼각형을 이용하여 기둥과 가새 역할을 동시에 수행하는 구조시스템을 의미한다. 즉, 스트럿-타이와 유사한 메커니즘으로 외력에 저항하는 높은 강성을 갖는 고효율 구조시스템이다.

1) 고려대학교 건축·사회환경공학과 BK 계약교수(kyj282@empal.com)

2) 교신저자, 고려대학교 건축·사회환경공학과 석사과정

(Tel. 02-3290-3743, Fax. 02-921-2439, E-mail: jiy2k@naver.com)

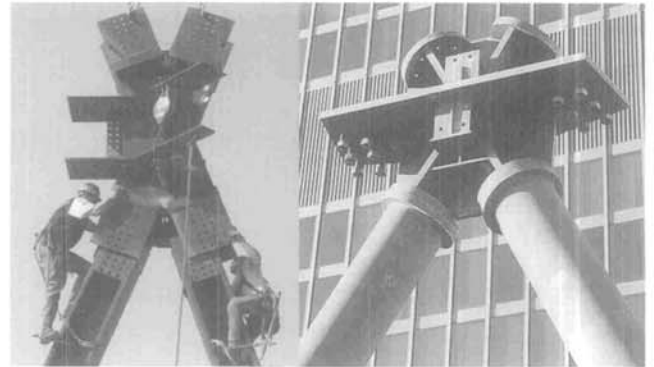
3) 고려대학교 건축·사회환경공학과 조교수(tallsite@korea.ac.kr)

4) 고려대학교 건축·사회환경공학과 교수(sdk@korea.ac.kr)

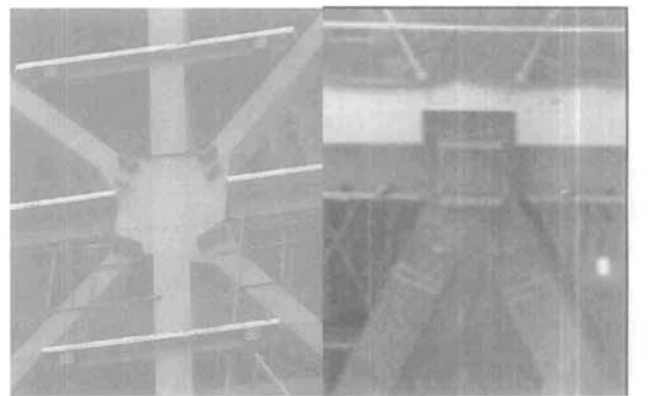
본 논문에 대한 토의를 2009년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

CTBUH(Council on Tall Building and Urban Habitat, 세계초고층학회) 학술발표대회(2008)에서도 다이아그리드 구조 시스템이 적용된 건축물이 소개되었으며(Charnish 등, 2008; Kim 등, 2008), Ali와 Moon (2007)의 연구에서도 초고층건물의 다이아그리드 구조시스템에 대해서 기술하였다. 또한, 다이아그리드 구조시스템의 시장확대가 예상됨에 따라 구조물 해석을 실시하여 대각가새 설치 각도에 따른 효율성을 평가하였고(Moon 등, 2007), 국내에서도 잠실 롯데 슈퍼 타워, 아산 배방 싸이클론타워 및 대전 퓨처엑스 프로젝트 등에 초대형 다이아그리드 구조의 적용이 검토되었다.

국내에서도 다이아그리드 구조시스템에 관한 일련의 실험적 또는 해석적 연구가 수행되었다(주영규 등, 2007; 김영학 등, 2007; 전봉수 등, 2008; 변태우 등, 2008). 주영규 등(2007)은 중력하중을 받는 다이아그리드 노드의 성능을 평가하였고, 변태우 등(2008)은 중력하중을 받는 다이아그리드 노드에 관한 유한요소해석을 실시하였고, 해석결과를 실험결과와 비교하여 해석의 타당성을 제시하였다. 김영학 등(2007)은 초대형 다이아그리드 노드(Mock-up)의 제작, 운반 및 설치방안을 검토하였고, 실험체 제작 시 후판의 용접에 의한 용접열 영향부의 응력을 조사하였다. 전봉수 등(2008)은 풍하중 또는 지진하중을 받는 다이아그리드 노드부의 구조적 성능을 평가하기 위해서 다양한 변수의 노드를 대상으로 비선형 유한요소해석을 실시하였고, 반복하중에 따른 노드부의 응력 및 변형도 집중 등을 파악하였다.



(좌): Hearst Tower, (우): 30 St Mary Axe



(좌): CCTV, (우): Cocoon Tower

그림 2. 다이아그리드 노드

그러나 실제 건물에서는 반복하중이 가새에 작용하게 된다. 다이아그리드 노드의 경우 이러한 반복하중에 대한 거동이 해석적으로 규명하는 것은 용접이라는 특성을 반영하기가 어

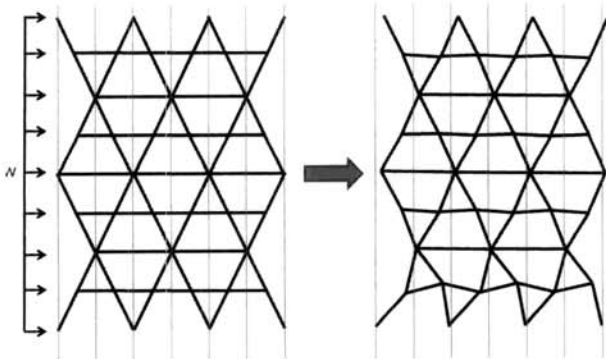


그림 1. 다이아그리드구조의 변형형상

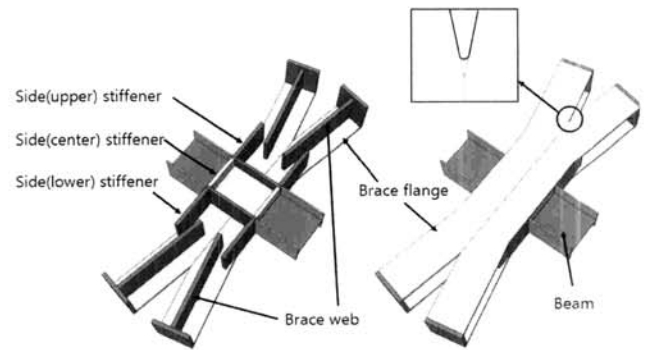


그림 3. 시험체 형상

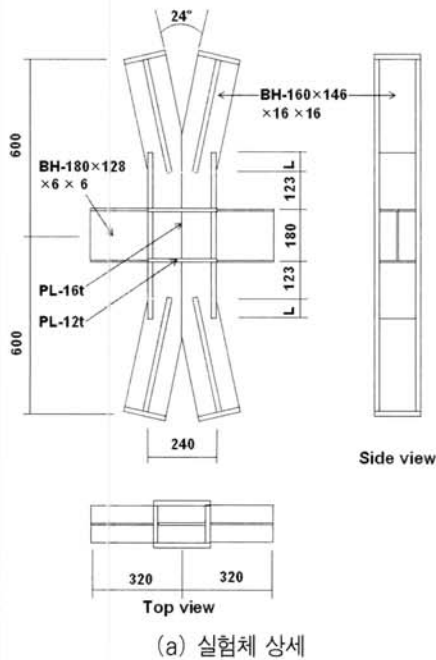
표 1. 실험체 일람

실험체	MA-00	MA-01	MA-02	MA-03	MA-04
웹-플랜지 용접	FP	PP	PP	PP	PP
측면(상하) 스티프너의 겹침 길이	L	L	L	1.5L	0.6L
측면(중간) 스티프너 용접	FP	FP	FP	PP	PP
측면(상하) 스티프너 용접	FP	PP	PP	PP	PP
플랜지-플랜지 용접	FP	FP	PP	PP	FP

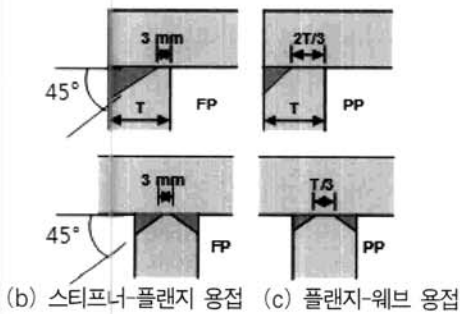
FP : Full penetration weld, PP : Partial penetration weld, L : Overlapped length between side stiffener and brace web

럽기 때문에 한계가 있다. 따라서 이를 실험적으로 규명할 필요가 있다.

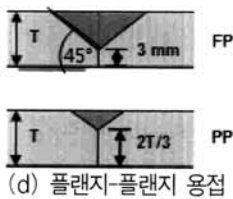
본 연구에서는 H형 단면을 가새부재로 사용한 다이아그리드 노드에 대하여 다양한 제작 및 설계 변수를 고려하여 반복하중에 대한 거동을 실험적으로 평가하고자 한다. 실험변수는 부위별 용접방법(완전용입 및 부분용입용접), 가새웨브와 측면스티프너의 중첩길이 등 5개를 선정하였으며, 각각의 영향을 5개의 실험체를 이용하여 규명하고자 한다.



(a) 실험체 상세



(b) 스티프너-플랜지 용접 (c) 플랜지-웨브 용접



(d) 플랜지-플랜지 용접

그림 4. 실험체 상세

2. 실험계획

2.1 실험체

실험체의 변형을 예측하기 위해 프로그램을 이용한 간략한 해석결과를 살펴보면, 수평하중을 받을 경우, 축변형 이외에 층간변형에 의한 각 노드의 상대적인 변형으로 인해 추가적인 모멘트의 발생이 예상되었다(그림 1참조). 이러한 부가적인 응력에 의한 다이아그리드 노드의 성능을 평가하기 위해 노드 실험체를 제작하였다.

그림 3은 다이아그리드 노드 실험체의 형상을 나타낸 것이다. 단면형상이 H형강인 대각가새가 만나는 노드부의 X자 모양으로 실험체를 만들었으며, 플랜지 부분은 연속된 형태이고 대각가새의 웨브 부분이 노드부에서는 측면스티프너로 힘이 전이되는 형상이다.

본 연구에서는 이러한 웨브전이형 다이아그리드 노드를 대상으로 하여, 측면스티프너와 웨브와의 겹침 길이, 응력이 집중될 것으로 예상되는 주요 부분의 용접 방법을 변수로 설정하였다. 웨브로 전달되어 오던 축력이 노드부에서는 측면스티프너로 전달되는데 웨브와 측면스티프너의 겹침길이를 조정하며 그 성능을 알아보려고 한다. 또한, 용접방법은 두 가지가 사용되었는데 완전용입용접(FP : Full Penetration welding)과 부분용입용접(PP : Partial Penetration welding)으로 나뉜다. 실대형 부재의 경우 매우 두꺼운 후판을 사용하기 때문에 용접량이 매우 많을 것으로 예상된다. 부분용입용접을 사용해도 구조적 성능에 차이가 없다면 용접량을 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 예상되어 실험체의 변수로 반영하였다.

실험체는 총 5개를 계획하고 제작하였으며, 각 실험체의 상세는 그림 4에 나타내었고, 실험체 일람 및 변수는 표 1에 요약하였다. MA-00, MA-01, MA-02 실험체는 형상은 같으나 주요 용접부위의 용접량을 변화시켜가며 용접량에 대한 성능의 차이를 비교하고자 하였고, MA-03, MA-04 실험체는 측면 스티프너와 대각가새 웨브간의 겹침길이를 변화시킴으로써 노드부의 형상에 따른 성능의 차이를 알아보려고 했다.

2.2 가력 방법 및 측정방법

2.2.1 가력방법

건물에 횡하중이 작용할 때의 대각가새 노드부의 거동을 묘사하기 위해, 대각가새의 한 쪽에는 인장력, 다른 한쪽에는 압축력을 가하였다. 두 대각가새 사이의 각도는 24° 이고, 가력장치의 용량의 한계를 고려하여 실물 부재의 1/5크기로

실험체를 제작하였다. 항복하중과 항복변위는 가새부재 단면만을 고려해서 축방향 항복하중 및 변위를 아래와 같이 간략하게 계산하였다.

$$P_y = F_y \times A_g = 357 \text{MPa} \times 6,720 \text{mm}^2 \approx 2,400 \text{kN} \quad (1)$$

$$\delta_y = P_y L / EA = \frac{2,400 \text{kN} \times 10^3 \times 1,200 \text{mm}}{210,000 \text{MPa} \times 6,720 \text{mm}^2} \approx 2 \text{mm} \quad (2)$$

가력은 축방향 항복 변위 2mm를 기준으로 1, 2, 4, 6배로 각 사이클별 2회씩 점증 가력하였다. 가력 종료시점은 실험체가 파단하는 경우나 최대 내력의 80%까지 하중이 저감되었을 경우를 기준으로 하였다.

실험 셋팅 사진이 그림 5(a)에 나타나 있다. 각각의 대각가새에 반복 하중을 가할 수 있도록 3000 kN 용량의 액추에이터 두 대를 설치하였다. 실험체와 액추에이터 설치의 편의를 위해 하부의 액추에이터는 반력벽에 수직으로 설치하고 상부의 액추에이터는 24° 기울여서 설치하였다.

2.2.2 측정방법

실험체가 인장 및 압축 하중을 받을 때 축방향 변위를 기준으로 가력을 하므로 축방향 변위를 측정하기 위해 다이얼 게이지를 이용하여 축방향 변위를 측정하였고, 노드 중심부의 수직 및 수평 이동을 측정하기 위해 노드 중심부에 LVDT를 설치하였다. 또한 실험체의 전체적인 횡좌굴 및 비틀림을 측정하기 위하여 상/하 보 부재에도 LVDT를 설치하였다.

국부적인 변형을 측정하기 위하여 1축 및 3축 소성계이지를 사용하였다. 응력이 집중되어 큰 변형이 생길 것으로 예상되는 부분과 부재의 단면이 끊어지거나 각도가 변하는 부분을 중심으로 설치하였다. 즉, 대각가새로 전달되는 축력을 측정하기 위해 대각가새 부재 방향으로 설치하였고, 웹에서 스티프너로 힘이 전달되는 부분 등 노드부의 각종 변형을 측정하고자 하였다. 대각가새가 만나는 V 접합구역 부분에 응력의 집중이 예상되어 3축계이지를 설치하여 변형도를 측정하고자 하였다. 또한 이 부분의 노치를 방지하고자 라운딩의 형상(r=15 mm)이 되도록 주의하여 제작하였다.

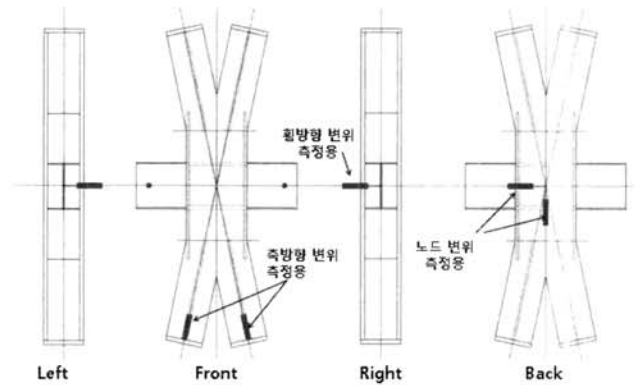
3. 실험 결과

3.1 이력특성 및 파괴형상

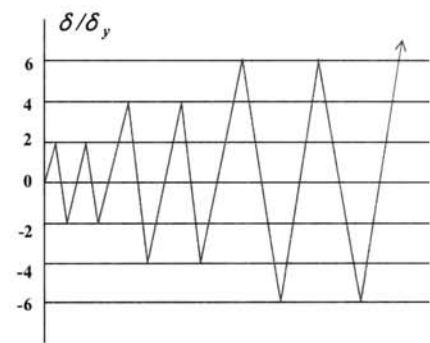
실험에 적용된 강재는 SM490($F_y=325\text{MPa}$)가 사용되었고, KS B 0801 1A 규격에 따른 시편으로 KS B 0802에 의한 인장시험결과, 항복강도는 모두 325 MPa을 상회하는



(a) 실험 장치



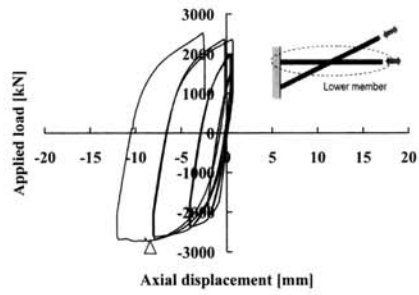
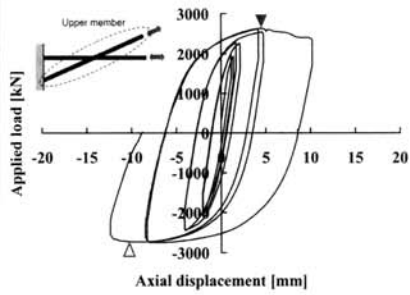
(b) 계측계획



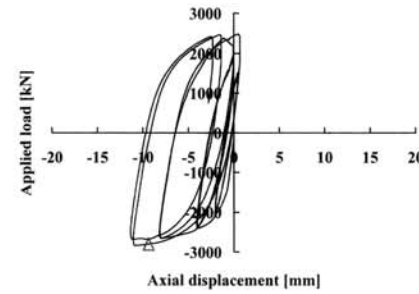
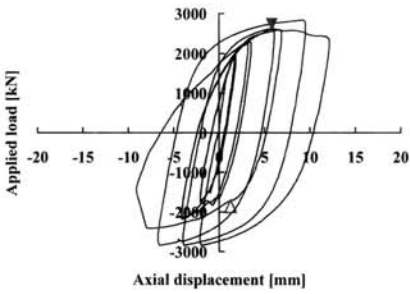
(c) 가력하중 프로파일

그림 5. 가력, 계측계획 및 실험장치

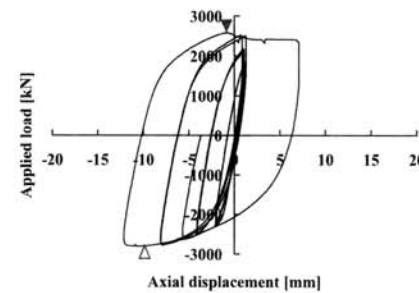
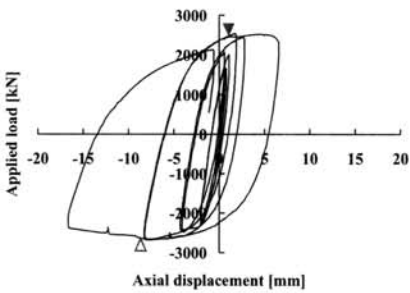
값을 나타냈고, 항복비는 0.67~0.81 및 연신율은 23~30%를 나타냈다. 실험결과를 표 2에 정리되어 있다. 그림 6은 각 실험체별 하중-변위 이력곡선을 나타낸 것이며 왼쪽 그래프는 상부 대각가새의 이력곡선을, 오른쪽 그래프는 하부 대각가새의 이력곡선을 각각 나타낸 것이다. 실험체의 파괴모드를 살펴보면, 각도가 다른 두 방향의 힘의 조합으로 노드 중심부가 위아래로 움직이는 변형에 의해(그림 7) 부가 모멘트가 생기게 되고 플랜지 바깥쪽부터 찢어지는 휨파괴가 발생했다. 상부 대각가새에 인장력이 가해지고 하부 대각가새에 압축력이 가해지면 두 힘의 조합에 의해 노드 중심부가 위쪽으로 변형하게 된다. 그로 인해 인장력을 주로 받는 상부 대



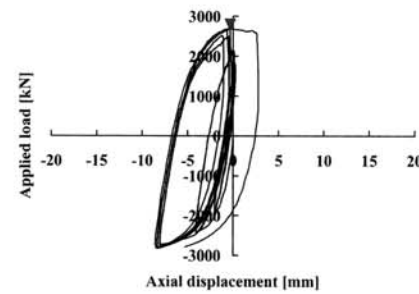
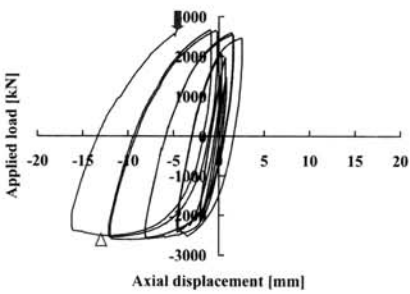
(a) MA-00



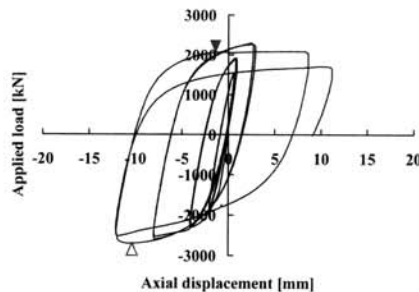
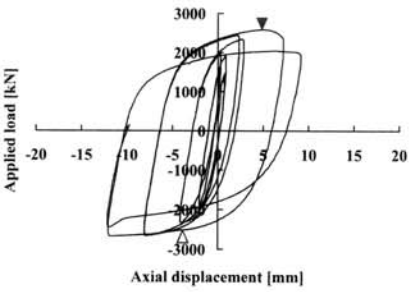
(b) MA-01



(c) MA-02



(d) MA-03



(e) M-04

그림 6. 하중-변위 곡선(왼쪽: Upper member, 오른쪽: Lower member, ▲: 대각가새 플랜지 균열; △: 국부좌굴)

각가새는 플랜지 외측에 부가 모멘트와 인장력에 의한 응력이 조합되어 플랜지 외측부터 균열이 발생하여 파괴가 일어났다(그림 8). 또한 압축력을 받는 하부 대각가새는 압축력에 의해 플랜지의 국부좌굴이 발생하였다(그림 9(a)).

큰 응력이 집중될 것으로 예상되었던 V접합부에선 탄성 구간에서는 큰 변형이 발견되지 않았다(그림 9(b)). 실험 시 두 대각가새 중 목표변위에 먼저 도달하는 쪽을 기준으로 다음 사이클을 시작했다. 한쪽에 압축력을 가하면서 다른 쪽에는 인장력을 가하는데 압축측은 횡좌굴에 의해 변위가 크지만 인장측은 변위가 상대적으로 작았다. 따라서 한 쪽 대각가새는 인장변위가 충분히 발생하지 못한 상태에서 다시 압축을 가하기 시작하게 되고 이러한 현상이 누적되어서 이력곡선이 압축측으로 치우치는 경향이 발견되었다. 아래에는 각 실험체별 파괴상황을 각각 나타내었다.

3.1.1 MA-00

MA-00 실험체는 모든 용접이 완전용입용접으로 되어 있고 대각가새의 웨브와 노드부 측면스티프너의 겹침길이(L)가 70mm 인 기준실험체이다. 상부 대각가새에 약 2700 kN의 인장력이 가해졌을 때 스티프너 단부의 가새 플랜지 외측에서 균열이 시작되어 내력이 감소하였다. 이와는 반대로 압축력을 받는 하부 대각가새에는 국부좌굴이 발생하였다.

3.1.2 MA-01

MA-01 실험체는 대각가새의 웨브-플랜지 용접과 측면스티프너의 용접을 부분용입용접 한 실험체이며 용접량에 따른 구조적 성능의 변화를 알아보려고 하였다. 실험결과 MA-00과 거의 같은 성능을 나타내어 용접량에 따른 성능의 차이는 없는 것으로 나타났다. 파괴형상도 MA-00과 같이 부가모멘트에 의해 인장측 대각가새 플랜지의 외측부터 균열이 시작되었고, 압축 쪽 대각가새의 플랜지에서는 국부좌굴이 발견되었다. 또한, 횡좌굴에 의해 하부 대각가새의 이력곡선이 압축측으로 치우친 것을 알 수 있다.

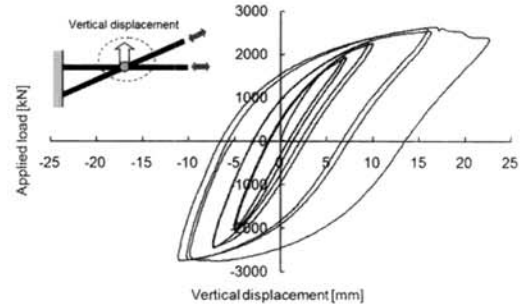


그림 7. 노드 중심부의 수직 변위

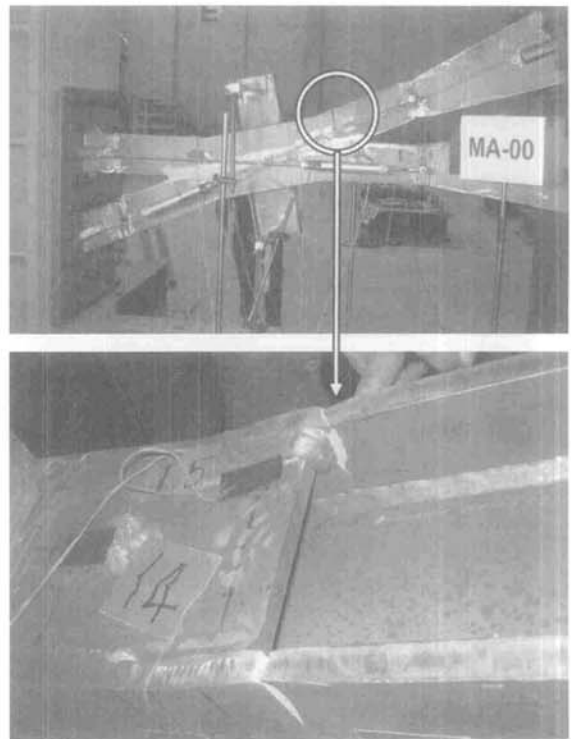
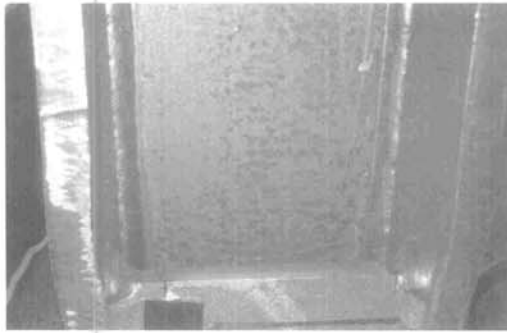


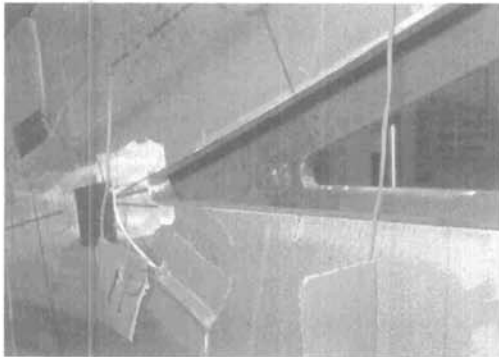
그림 8. 인장측 대각가새의 휨 파괴

표 2. 강재의 인장 실험 결과(KS B 0801 1A)

시편	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	항복비	연신율 (%)
Plate-24	406	535	0.76	30
Plate-20	360	538	0.67	26
Plate-16	357	528	0.68	29
Plate-12	378	542	0.70	26
Plate-6	421	518	0.81	23



(a) 대각가새의 국부좌굴



(b) V 접합구역

그림 9. 국부좌굴 및 V접합구역

3.1.3 MA-02

MA-02 실험체는 대각가새의 웨브-플랜지 용접과 측면스티프너의 용접, 플랜지와 플랜지 간의 용접을 부분용입용접으로 한 실험체이다. MA-01 실험체와 마찬가지로 용접량에 따른 실험결과와의 차이는 발견되지 않았으며 이전 실험체들과 비슷한 성능을 보여주었다. 용접량에 따른 이력특성의 차이는 후반부에 논의되어 있다. 그림 6(c)를 참조하면 MA-02 실험체는 4번째 사이클에서 목표변위 12mm보다 더 큰 16mm까지 실험을 진행하였고 하부 대각가새의 플랜지에서도 인장파단의 결과를 나타냈다.

3.1.4 MA-03

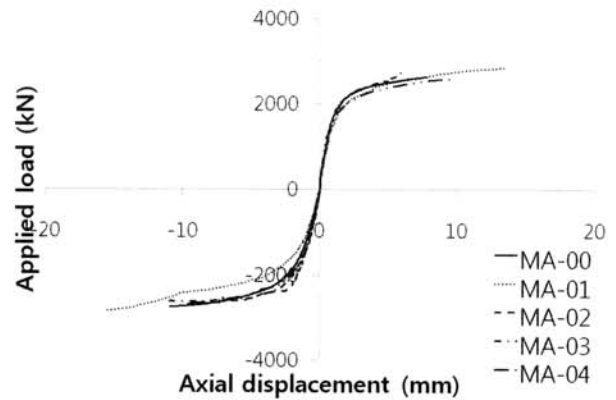
MA-03 실험체는 주요 부분의 용접은 모두 부분용입용접으로 하고 측면 스티프너와 웨브와의 겹침길이를 MA-00 실험체의 1.5배로 설계했다. 웨브로 전달된 축력이 스티프너로 전이되는데 겹침길이를 조정해서 구조적 성능의 차이를 알아보 고자 하였다. 이 실험체의 경우 압축변위가 8mm에 도달 했을 때 가력기하중의 한계용량에 도달해서 다음 사이클의 가력을 시작했다. 따라서 가력기의 한계용량에 상당하는 하중 상태에서 실험체가 파괴될 때까지 반복가력을 하였다. 최대 용량으로 가력하는 중에 네 번째 가력에서 파괴 되었으며 다른 실험체와 마찬가지로 부가 모멘트에 의해 대각가새 플랜지의 외측부터 찢어져 파단이 일어났다.

3.1.5 MA-04

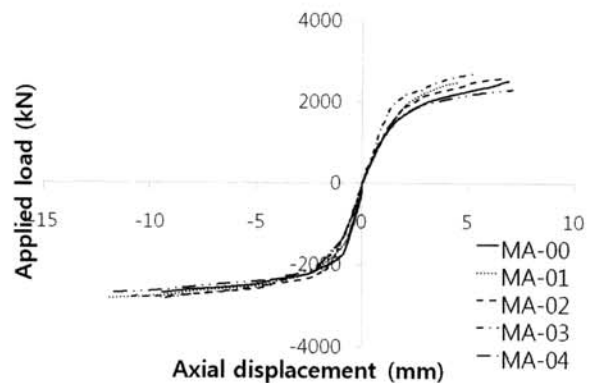
MA-04 실험체는 주요부분의 용접은 모두 부분용입용접으로 되어 있고 플랜지와 플랜지간의 용접만 완전용입용접으로 했다. 또한, 스티프너와 웨브의 겹침길이에 대한 영향을 알아보기 위해 겹침길이를 MA-00 실험체의 0.6배로 설계하였다. 8mm가 목표변위인 3번째 가력 시에 다른 실험체들과 마찬가지로 대각가새 플랜지의 외측이 찢어지며 파단되었다. 측면스티프너의 길이가 가장 짧기 때문에 내력면에서 다소 저하된 것을 확인할 수 있었다.

3.2 초기강성 및 항복강도

그림 10과 표 3에 각 실험체의 실험결과가 정리되어 있다. 초기 강성에 대한 각 변수의 영향을 살펴보면 다음과 같다. 용접방법의 차이에 따라 초기강성의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 같은 형상일 때, 모든 곳에 완전용입용접을 한 MA-00 실험체가 부분용입용접을 한 MA-01, MA-02 실험체보다 초기강성이 약간 크게 나왔지만 그 차이는 극히 작아서 영향은 없다고 봐도 타당할 것으로 보인다. 또한, MA-03 실



(a) Upper member



(b) Lower member

그림 10. 단조화 그래프

험체와 MA-04 실험체를 비교해 보면 웨브와 스티프너의 겹침길이에 따른 영향을 알 수 있는데 MA-03 실험체의 초기 강성이 더 크게 나왔으며 겹침길이가 길수록 초기강성이 더 크게 나온다는 것을 확인할 수 있었다.

항복강도는 용접방법 보다는 실험체의 형상과 관련이 깊은데 웨브의 겹침 길이가 긴 MA-03 실험체가 다른 실험체보다 항복강도가 크게 나왔고, 겹침길이가 짧은 MA-04 실험체가 상대적으로 강도가 작게 나왔다. 용접량에 의한 영향을 살펴볼 수 있는 MA-00, MA-01, MA-02 실험체 사이에서는 특별한 연관성이 없는 것으로 나타났다.

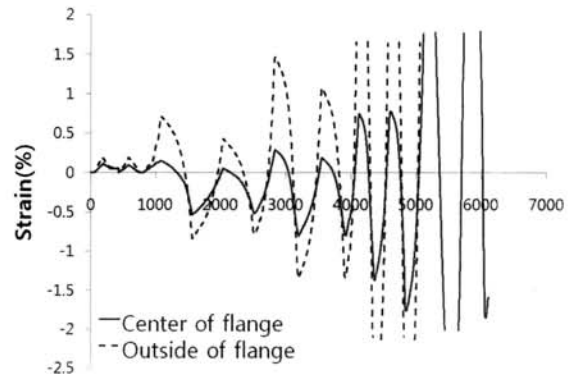
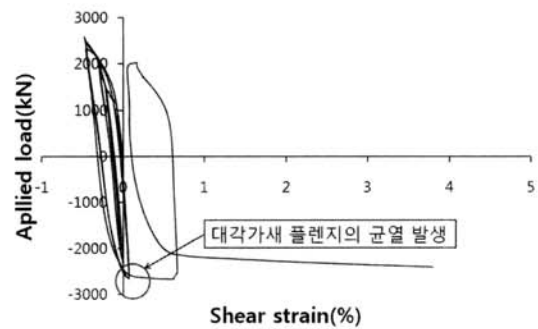


그림 11. 플랜지 중앙/외측 변형률(MA-04)

3.3 변형도 분포

3.3.1 대각가새 부재

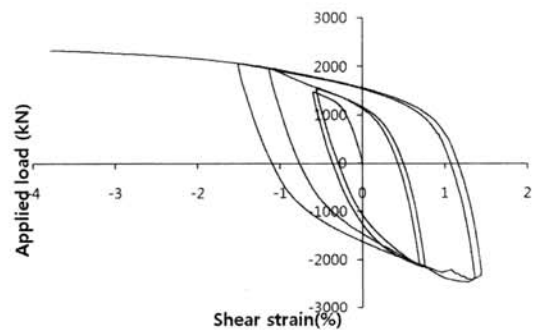
그림 11은 대각가새 플랜지의 외측과 중앙에 각각 부착된 변형도 게이지의 변형률 곡선을 보여준다. 변형률 곡선을 비교해보면 축력보다는 부가 모멘트에 의한 영향을 많이 받는 것을 확인할 수 있다. 플랜지 외측은 축력에 휨모멘트까지 더해져서 초기부터 플랜지 중앙보다 큰 변형을 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 플랜지 외측의 변형도가 조기에 증가하여 취약한 부분인 용접부 부터 균열이 발생하기 시작하였다.



(a) 완전용입용접(MA-04)

3.3.2 V 접합구역

그림 12(a)는 MA-04 실험체의 V접합구역 하중-전단변형률 관계를 나타낸 것이다. 전단변형률은 3축 게이지에서 얻은 데이터를 바탕으로 역학적으로 계산하여 얻은 값이다. 실험 전에 큰 변형이 예상되었던 V 접합구역에서는 하중이 반복적으로 증가하더라도 뚜렷한 변형은 관찰되지 않았다. 하지만 부분용입용접을 사용한 MA-03 실험체의 변형률을 보면(그림 12(b)) 가력 초기부터 비교적 큰 변형이 생기는 것을 알 수 있다. 그리고 완전용입용접을 사용했을 경우에는 대각가새의 파괴가 일어나기 전에는 탄성 범위에서 변형을 일으키다가 파단 이후에 응력이 집중되어 큰 변형을 나타내었다. 따라서 완전용입용접을 사용했을 경우, 노드부의 파괴이전까지 V접합구역은 구조적으로 안전하다고 할 수 있다. 하지만 반복하중을 고려할 경우에는 인장 또는 압축의 단일하중을 받을 때에 비해서 부분용입용접은 사용하지 않는 것이 바람직하다고 할 수 있다.



(b) 부분용입용접(MA-03)

그림 12. V 접합부 변형률

3.3.3 노드 중심부

대각가새가 교차하는 노드의 중심부에도 3축게이지를 부착하여 전단변형률을 측정했다. V접합부와 마찬가지로 노드 중심부에서도 눈에 띄는 큰 변형은 관찰되지 않았으며 하중변

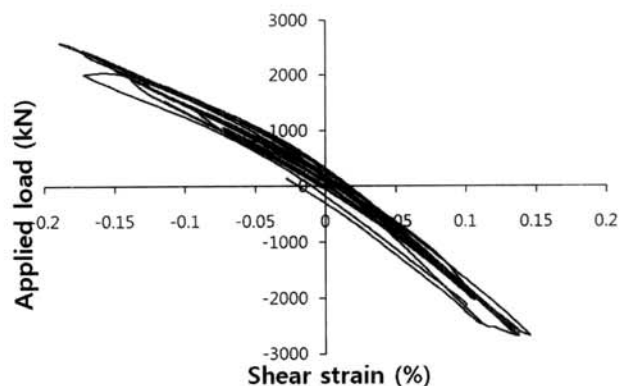


그림 13. 노드중심부 전단변형률(MA-04)

표 3 각 실험체별 성능 비교

실험체	초기강성 (kN/mm)	항복내력 (kN)	연성비	소산에너지 (kN.m)	웨브-플랜지 용접	겹침길이	외측(중간) 스티프너 용접	외측(상하) 스티프너 용접	플랜지-플랜지 용접
MA-00	1914 (100%)	2017 (100%)	6.73 (100%)	304 (100%)	FP	L	FP	FP	FP
MA-01	1812 (95%)	2143 (106%)	7.95 (118%)	353 (116%)	PP	L	PP	FP	FP
MA-02	1646 (86%)	2112 (105%)	5.70 (85%)	340 (112%)	PP	L	PP	FP	PP
MA-03	1975 (103%)	2318 (115%)	6.66 (99%)	289 (95%)	PP	1.5L	PP	PP	PP
MA-04	1428 (75%)	1820 (90%)	9.71 (144%)	410 (135%)	FP	0.6L	PP	FP	FP

형 곡선(그림 13)에서 볼 수 있듯이 탄성범위 내에서 변형을 하는 것을 알 수 있다.

3.5 에너지 흡수능력

그림 14에 에너지 흡수능력을 그래프로 정리해 놓았다. 용접방법을 기준으로 보면 MA-00 실험체가 MA-01, MA-02 실험체보다 에너지 흡수능력이 떨어졌으나 그 차이는 미미했다. 웨브와 스티프너간의 겹침길이에 대한 영향을 살펴보면 MA-04 실험체가 상대적으로 강도가 컸던 MA-03 실험체보다 에너지 흡수 능력이 높은 것으로 나타났다.

겹침 길이가 짧았던 MA-04 실험체의 경우 스티프너 단부의 응력 집중이 비교적 적었기 때문에 파단 이전에 더 많은 에너지를 흡수 할 수 있었다. 반면에 MA-03 실험체는 스티프너의 겹침 길이가 가장 긴 실험체로 스티프너 단부에 응력 집중이 상대적으로 크게 되어 다른 실험체에 비해 조기에 파단했고 상대적으로 열등한 에너지 흡수능력을 나타내었다. 또한, MA-03 실험체는 모든 용접이 부분용입용접 이었고, MA-04는 주요 부위가 완전용입용접이었다. 따라서 에너지 흡수능력은 용접방법과 스티프너 겹침길이의 영향을 동시에 받는 것으로 판단된다.

4. 결론

반복하중을 받는 다이아그리드 노드부의 거동과 파괴 형상, 용접방법에 따른 구조적 성능을 알아보았고 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

(1) 모든 실험체는 플랜지 외측부터 찢어져 파괴 되었는데,

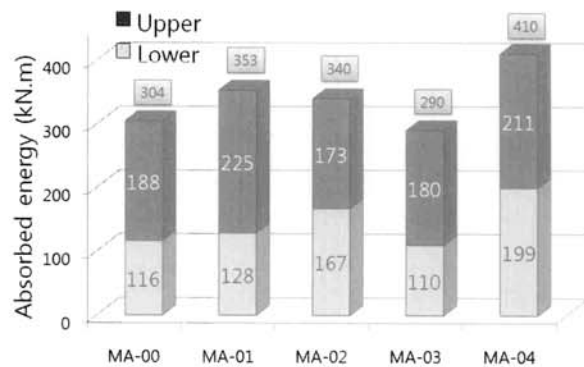


그림 14. 에너지 흡수능력

방향이 다른 두 힘의 조합에 의해 추가적인 휨응력이 발생하며 인장응력에 더해져 큰 응력이 한 곳에 집중되어 대각가새 부재의 휨파괴가 일어났다. 따라서 실제 구조물의 설계시 휨파괴에 대한 고려가 필요하다.

- (2) 응력이 집중 될 것으로 예상되는 부분의 용접방법을 변화시켜가며 구조적 성능을 알아보고자 했지만 축력과 전단력에 의한 영향뿐만 아니라 휨에 의한 영향도 지배적이었기 때문에 구조적 성능에 대한 용접방법의 영향은 비교적 적었다.
- (3) 노드부의 웨브와 스티프너의 겹침길이에 따라서 항복 강도의 차이는 비교적 뚜렷하게 나타났고, 겹침길이가 길수록 항복강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 스티프너와 웨브의 겹침길이는 스티프너와 웨브의 수직거리(L) 이상이 확보되어야 충분한 내력을 발휘할 수 있다.
- (4) 에너지흡수능력에 관해서는 용접방법과 겹침길이에 의한 영향을 동시에 받는 것으로 판단된다. 기준 실험체 MA-00을 기준으로 하여 용접방법에 따른 구조성능을 비교한 결과, MA-01 실험체가 기준 실험체와 가장

근접한 성능을 보여주었다. 따라서 웨브-플랜지 용접과 중앙스티프너 용접을 부분용입용접으로 대체할 수 있다. MA-02와 MA-03 실험체는 플랜지-플랜지(V접합부) 용접이 부분용입용접 이므로 부적합하다. 또한, 축력과 휨에 의한 영향을 많이 받는 상하부 외측 스티프너-플랜지 용접도 완전용입용접으로 할 필요성이 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업(06R&D C21)에 의한 것으로 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

김영학, 정연백, 석원균, 박순전, 이주호(2007) 초대형 대각가새 (Diagrid) 부재 제작 및 시공방법에 관한 사례 연구. 2007년도 학술발표대회논문집, 한국강구조학회, pp. 728-733

주영규, 엄태성, 김진호, 장인화, 한기명, 안선미(2007) Diagrid 접합부의 구조성능 평가. 2007년도 학술발표대회논문집, 한국강구조학회, pp. 794-799

변태우, 박순전, 주영규, 김상대(2008) 초대형 대각가새 시스템의 접합부 성능에 관한 연구. 2008년도 학술발표대회논문집, 한국강구조학회, pp. 215-218

전봉수, 이장홍, 손승현, 김동관(2008) 초대형 대각가새 접합부의 횡력저항성능 평가. 2008년도 학술대회발표집, 한국강구조학회, pp. 552-555

Barry Charnish and Terry McDonnell(2008) The Bow: Unique Diagrid Structural System for a Sustainable Tall Building. CTBUH 8th World Congress 2008

Kim Jong Soo, Kim Young Sik, Lho Seung Hee(2008) Structural Schematic Design of a Tall Building in Asia using the Diagrid System

Mir M. Ali and Kyoung Sun Moon(2007) Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects. Architectural Science Review Volume 50.3, pp. 205~223

Kyoung Sun Moon, Jerome J. Connor and John E. Fernandez(2007) Diagrid structural system for tall buildings: Characteristic and methodology for preliminary. The structural design of tall and special buildings. 16, pp. 205~230.

Young K. Ju et al.(2008) Diagrid structural system of Lotte super tower (555m), Proceedings of Int. Conf. on Moscow Gaining Height. (접수일자 : 2008. 11. 13 / 심사일 2008. 11. 19 / 게재확정일 2009. 6. 10)