

# EG-Girder의 구조성능 평가분석

## Structural Performance Evaluations of EG-Girder

(주)씨엠파트너스 서 정 호·신동아건설(주) 김 영 래·(주)한화건설 우 성 우·현대건설(주) 오 명 석

### 1. 기술의 개요

#### 1.1 종래 기술의 문제점

최근에 들어 강구조 건축물을 오피스 건물을 중심으로 사용하는 예가 증가하고 있으며, 보부재의 경우에는 단면효율성을 고려하여 거의 대부분 H형강을 사용하고 있다. 한편 보의 양측 단부에 발생하는 휨 모멘트의 값은 보 중앙부에 발생하는 휨 모멘트의 값보다 약 2배 가량 높게 된다. 예컨대, 보 단부의 휨 모멘트 값을  $M$ 이라 하면, 보 중앙부의 휨 모멘트 값은 대략  $0.5\sim 0.6M$ 이 된다. 그러나 보를 설계할 경우에는 최대 휨 모멘트 값인  $M$ 을 기준으로 하여야 하므로, 중앙부의 재료 낭비가 심하다. 따라서 최대 휨모멘트를 기준으로 보를 설계하는 경우, 보 춤, 즉 보의 높이가 커지게 되고 이로 인하여 각 층의 가용 공간이 줄어드는 문제점이 있다. 즉, 보의 점유공간으로 인하여 높이가 낮아져 공간의 활용성이 저하된다.

이에 효율적인 철골 보의 설계를 위해 단부를 보강하고 중앙부에 작용하는 모멘트에 대하여 철골 보를 설계하는 효율적인 구조 시스템을 개발하고자 한다.

#### 1.2 기술의 개발

이에 효율적인 철골 보의 설계를 위해 단부를 보강하고 중앙부에 작용하는 모멘트에 대하여 철골 보를 설계하는 효율적인 구조 시스템을 개발하고자 한다. 보의 단부를 보강하게 되면, 단부 모멘트에 대한 저항이 커지므로 중앙부에 대한 값만으로도 철골보의 설계가 가능하게 된다.

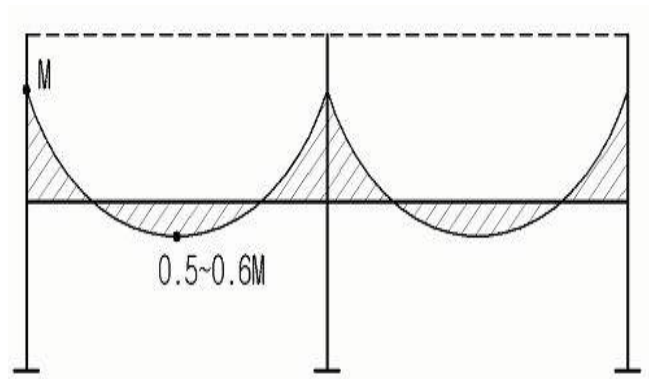


그림 2. 철골보와 기둥의 모멘트 형상

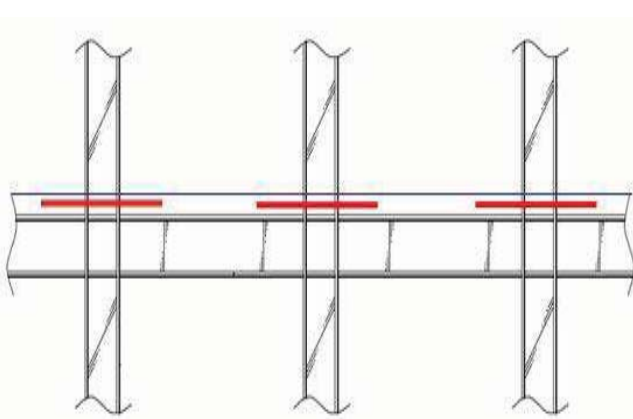


그림 1. 철골보와 기둥의 시공 단면도

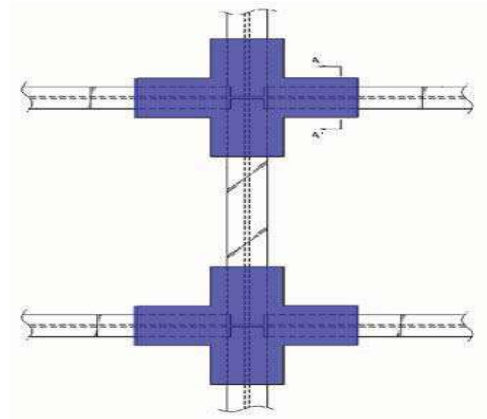


그림 3. 보의 단부 보강안-1

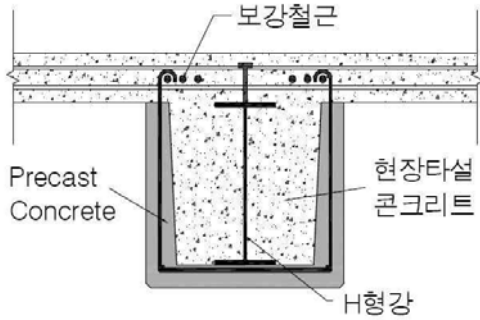


그림 4. 보의 단부 보강안-2

### 1.3 기술의 개요

철골보에 발생하는 주요응력은 모멘트와 전단력이 대부분이다. 개발하고자 하는 기술은 콘크리트와 철골의 합성효과로 모멘트 내력을 획기적으로 증진하고, 전단력에 대해서는 보강 강판을 사용하여 전단내력을 향상시켰다. 또한 보강 강판을 형틀용으로 사용할 수 있도록 하여 시공성을 증대시켰다. 따라서 모멘트 및 전단 저항 강도의 경우 2배 정도의 내력 향상은 큰 비용증가 없이 설계가 가능하다.

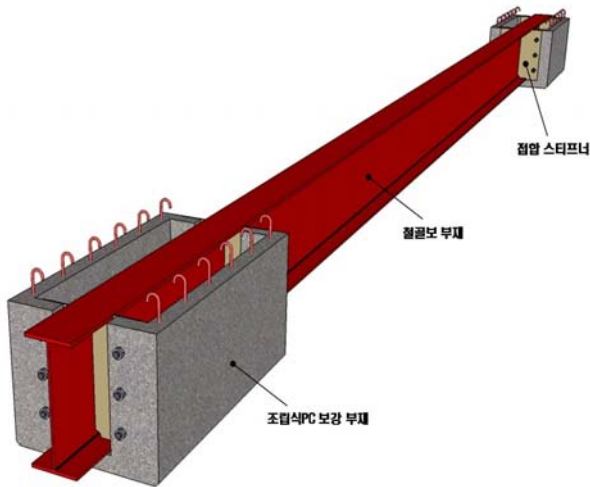


그림 5. EG-Girder의 형태 및 구성

## 2. EG-Girder 구조성능 평가실험

### 2.1. 시험체 계획

그림6은 횡력 작용 시 골조에 발생하는 모멘트를 나타낸 것으로 골조의 단부에서 모멘트가 최대점이 되고 부재의 중앙부에서는 모멘트가 발생되지 않는다.

그리고 골조의 외곽부분은 골조의 내부와 달리 불균형 모멘트가 작용하는 등 실제 골조의 내부보다 불리하게 작용한다. 따라서 그림 7과 같이 T형 기둥-보 시험체로 설계하였다.

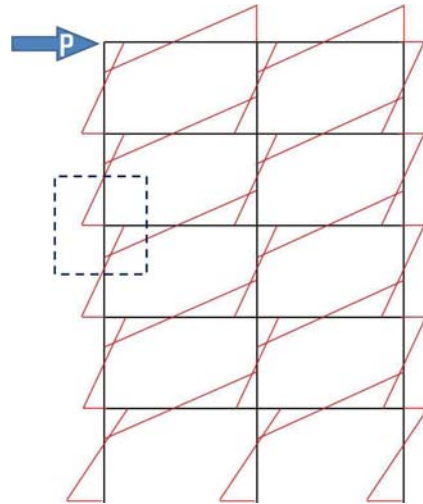


그림 6. 수평하중시의 모멘트

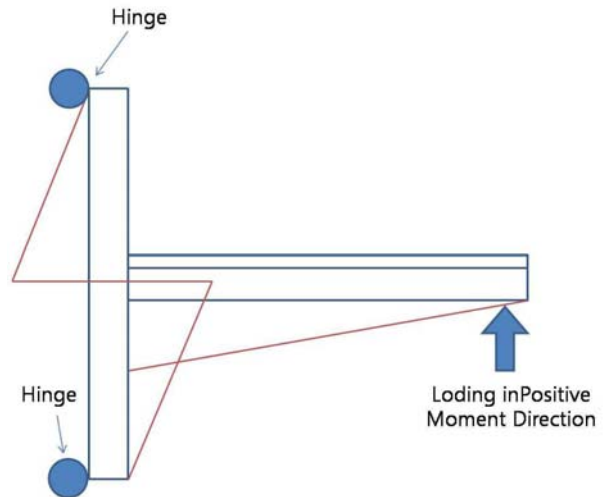


그림 7. 시험체 형상

합성보의 구조성능을 평가하기 위해서, 모멘트가 작용하지 않는 기둥의 양 끝단에 힌지를 설치하고 보의 끝단을 가력한다. 실험실 현장조건과 장비 등을 감안하여 그림 7의 형상을 반시계 방향으로 90° 회전시킨 시험체로 그림 8 및 그림 9와 같이 계획하였다.

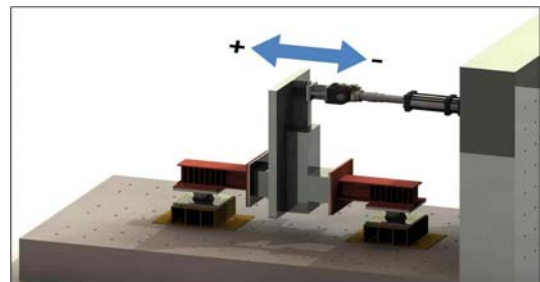


그림 8. 시험체 Set-Up 상황

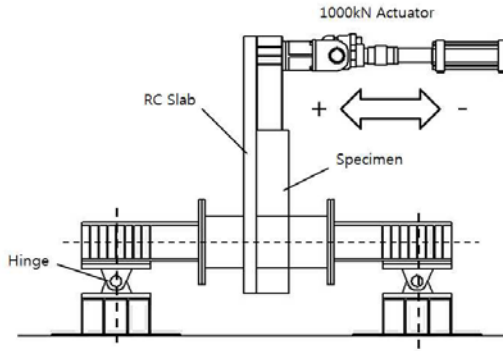


그림 9. 시험체 설치도

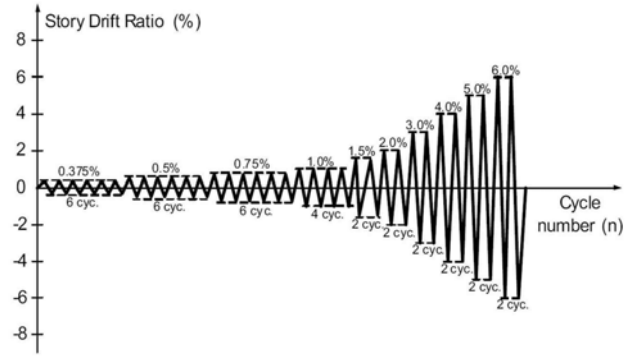


그림 11. 가력방법

2.2 실험

2.2.1 시험체 설치

하중조건으로 층고의 중간지점이 모멘트 반곡점이기에 그 길이에 따라 기둥 상하단을 반력바닥에 힌지상태로 하였다. 그리고 합성보 단부는 용량이 1,000kN 액츄에이터로 반복가력하였다. 또한, 가력시 보의 면외변형을 막기 위해 가력 끝단 양쪽에 횡좌굴 방지 지그를 설치하였다.

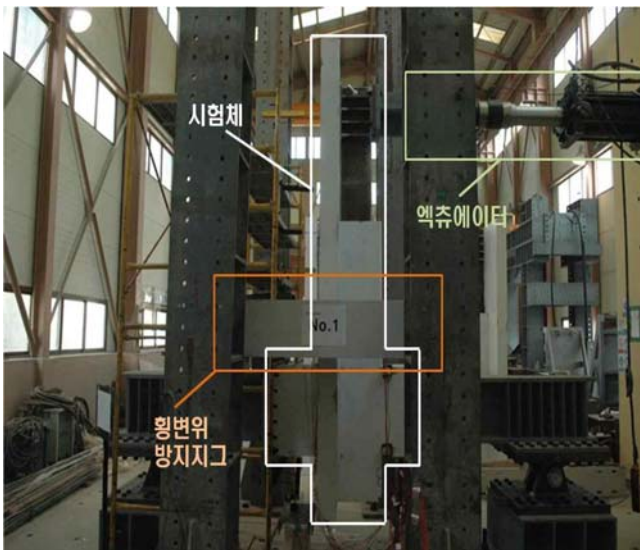


그림 10. 시험체 설치 전경

2.2.2 가력 방법

시험체 가력방법은 그림 11에서 보는 바와 같이 ANSI/AISC SSPEC\_2002 Cyclic Loading Program(AISC, 2002)에 준하여 실시하였으며, 기둥 중앙에서 가력점까지의 거리를 기준으로 층간변위각을 산정하여 이를 기준으로 변위제어 하였다. 하중가력은 층간 변위를 기준으로 0.375, 0.5, 0.75%일 때 각 6회, 1% 4회, 1.5%이상의 경우 2회씩 반복가력하였다.

2.2.3 측정계획

변위계는 8개를 설치하여 패널존의 변형 및 연직변위를 산출하였다. 전체변위는 가력점에서 보 하부의 줄 변위계로 측정하였고, 기둥-보 접합부에서 200mm 떨어진 기둥 상하면에 변위계(LVDT)를 두 개 설치하여 기둥 회전각을 측정하였다. 패널존 거동 측정은 대각방향 측정에 양쪽에 두 개의 LVDT를 설치하였다.

시험체의 변형률 분포를 확인하기 위하여 스트레인 게이지를 부착하였다. 철골보 및 철근의 변형률 분포는 소성게이지를 이용하여 측정하였으며, 게이지 위치는 기둥면에서 150mm, 1150mm 떨어진 위치에 부착하였다. 콘크리트 슬래브의 변형율은 콘크리트용 게이지를 이용하여 측정하였다.

2.2.4 시험체 변수조건

실험변수를 이용하여 시험체 설계에 적용될 각 변수들을 요약하여 그림 12에 나타내었다.

표 3

항 목	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
체크플레이트	○	×		○	○
스터드볼트			○		○
추가하부철근				○	
PC부전단 철근	○	○	○	○	
비고	최초개 발안	체크플 레이트 부착 확인	스터드 볼트 효과 확인	하부철 근보강 효과 확인	스트립 철근 효과 확인

2.3. 실험 결과

2.3.1 하중-변형

ANSI/AISC SSPEC\_2002 Cyclic Loading Program(AISC, 2002)에 따른 점중 반복가력 실험에서 얻어진 하중-변위 관계를 그림 3.1에 나타내었다. 그림에서 종축은 액츄에이터에서 얻어진 하중과 기둥중심에서 가력위치까지의 거리를 곱하여 얻어진 휨모

멘트를 나타내고, 횡축은 보의 전체변형을 측정한 변위와 기둥중심에서 가력위치까지의 거리를 나눈 값인 회전각을 나타낸다. 실험에서 얻어진 실험결과를 요약하여 표 2에 나타내었다. 여기서 초기강성은 실험에서 얻어진 초반부의 하중을 변위로 나눈 값으로 나타내었다.

### 2.3.2 변형률 분포

보는 바와 같이 시험체 종류에 상관없이 일체적 거동 즉, 평면유지를 확인할 수 있다. 즉, 완전합성보의 휨성능을 보임을 판단할 수 있다. 그리고 변형률 게이지를 기둥면에서 150mm, 1150mm에 떨어진 위치에 첨부하여 단부보강위치에 따른 양상을 비교하면 게이지 첨부한 위치에 상관없이 평면유지는 존재한다고 볼 수 있다.

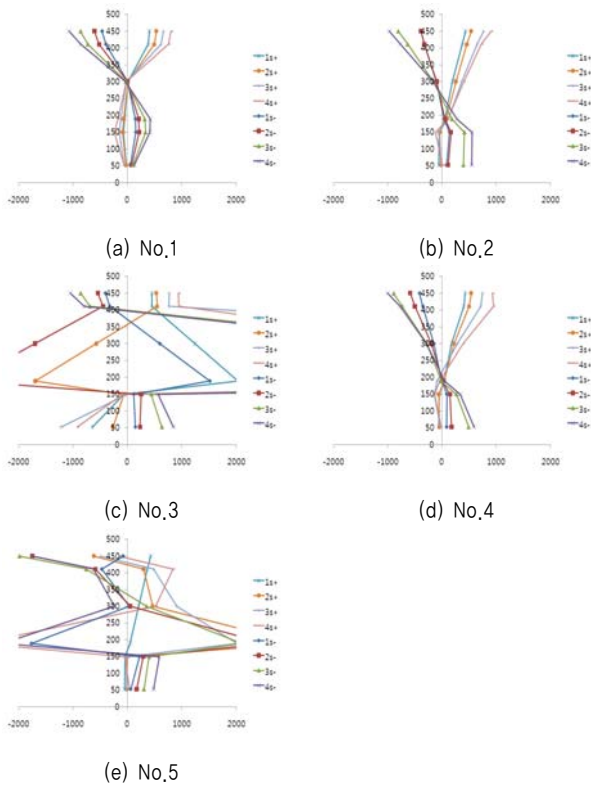


그림 12. 기둥면에서 1150mm 떨어진 위치의 변형률

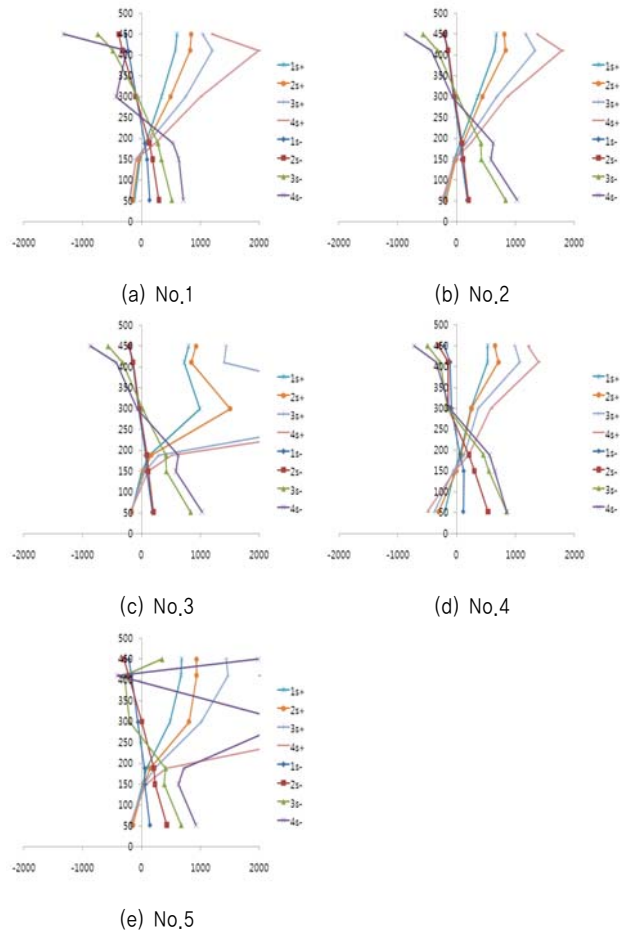


그림 13. 기둥면에서 150mm 떨어진 위치의 변형률

### 2.3.3 파괴 양상

0.5~0.75radian(%)에서 기둥주변의 상부 슬래브에 발생된 균열이 가력지점 방향으로 진행되었고 기둥면에서 보가력 방향으로 평행하게 균열이 평행하게 균열이 진전되었다.

표 4

시험체 명칭	휨모멘트(kN · m)				회전각(rad,%)				초기강성(kN/m)	
	$M_y^+$	$M_y^-$	$M_{max}^+$	$M_{max}^-$	$\delta_y^+$	$\delta_y^-$	$\delta_{max}^+$	$\delta_{max}^-$	$K^+$	$K^-$
No.1	268.1	418.6	481.4	644.5	0.40	0.63	2.90	2.22	16.15	15.3
No.2	291.0	467.6	485.4	663.8	0.44	0.70	2.86	2.40	13.8	14.58
No.3	327.0	441.5	538.0	772.4	0.50	0.72	2.87	2.97	15.38	16.65
No.4	385.9	431.6	633.0	797.7	0.55	0.60	2.81	2.73	19.34	16.11
No.5	310.6	464.3	522.2	715.3	0.43	0.71	2.86	2.83	15.67	15.24

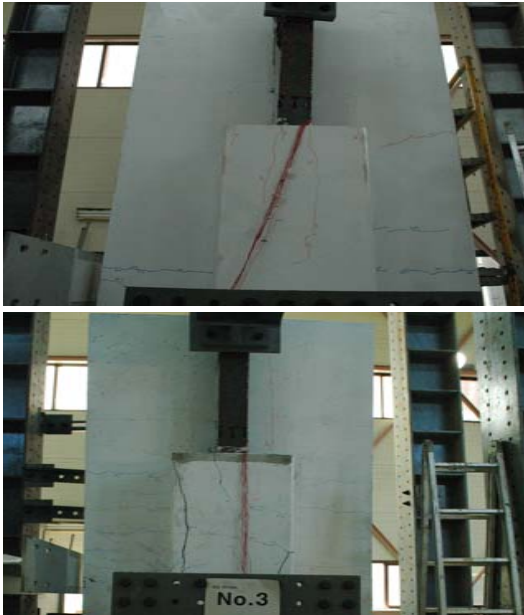


그림 14. 시험체 파괴상황

## 2.4.결과 분석

### 2.4.1 최대모멘트

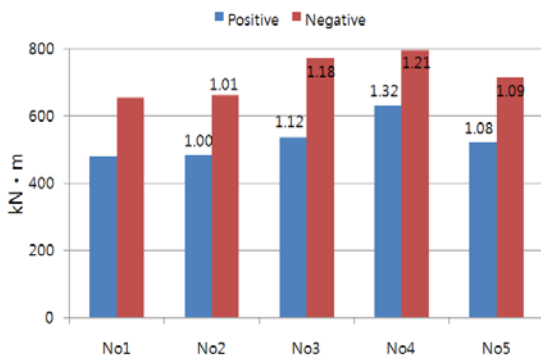


그림 15. 시험체 별 최대모멘트

### 2.4.2 최대모멘트시의 회전각

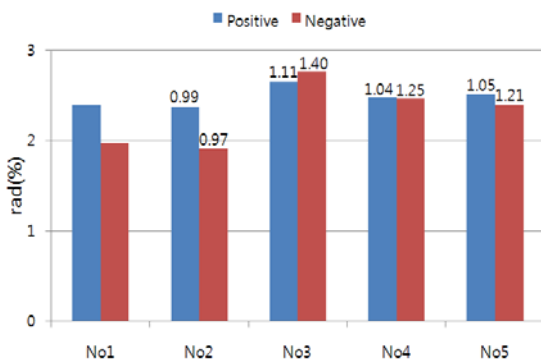


그림 16. 시험체별 최대모멘트 시 회전각

### 2.4.3 강성변화

Step별 강성은 반복가력시 각 Step에서 흡수하는 에너지와 Step별 내력 증감 등에 큰 영향을 미친다. 정·부방향에서 모든 시험체는 전반적으로 Step이 증가할수록 강성은 감소하는 것을 알 수 있다.

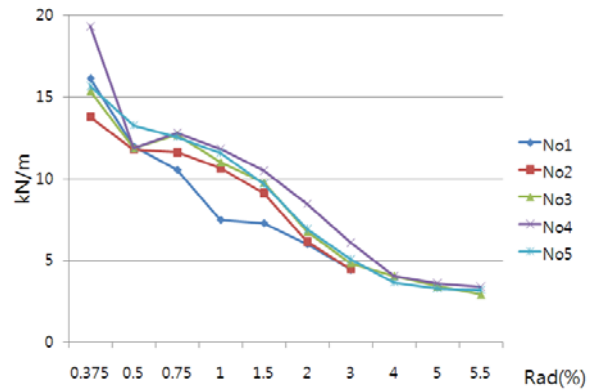


그림 17. 강성변화(정방향)

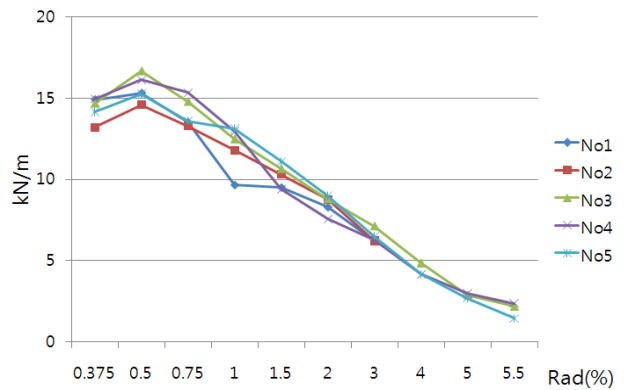


그림 18. 강성변화(부방향)

### 2.4.4 내력변화

모멘트-회전각 관계 곡선에서 모든 시험체는 7Step에서 가장 큰 내력을 나타냈다. 내력변화는 7Step 이후의 내력을 나타낸 것으로 그림 19와 그림 20과 같이 나타내었다.

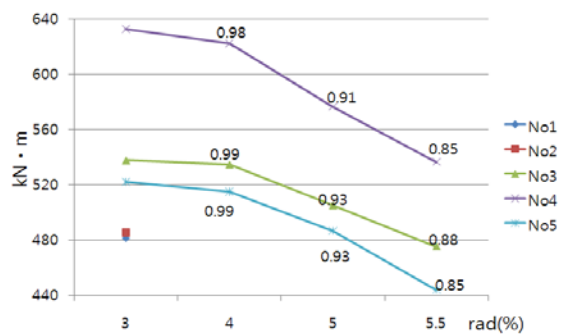


그림 19. 내력변화(정방향)

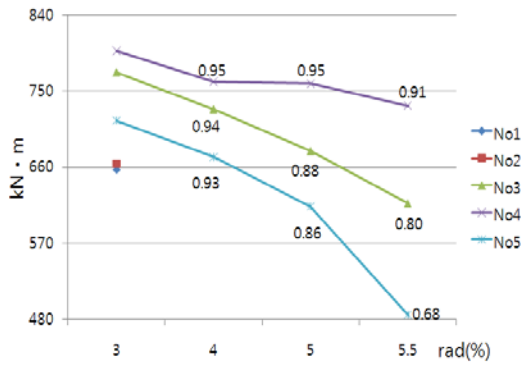


그림 20. 내력변화(부방향)

### 3. 결 론

- 1) EG-Girder 시험체의 설계 휨내력(전소성모멘트)은 정방향의 경우, 409kN·m, 부방향의 경우, 623kN·m이고, 하부철근보강 시 정·부방향으로 526kN·m, 624kN·m로 산정되었다. 모든 시험체의 실험 휨내력은 설계 휨내력인 전소성 모멘트값 이상으로 상회하였다.
- 2) EG-Girder는 기존 합성보에 비하여 보 춤을 25%, 강재량을 27%, 피복면적을 100% 절감하였다. 따라서 강재량, 내화피복량 등의 물량감소와 층고절감으로 인하여 공기 및 공사비를 절감시켜 경제성을 향상시킬 수 있다고 판단된다.
- 3) No.1 시험체와 No.2 시험체는 3radian(%)에서 콘크리트 슬래브와 철골보가 분리되어 3radian(%)이상에서 구조특성을 파악할 수 없었으나, 3radian(%)에서 전소성 모멘트 이상의 휨내력을 나타내므로 중간모멘트 골조 시스템으로 인정받을 수 있다. 그리고 No.3, No.4, No.5 시험체는 5.5radian(%)에서 0.8Mp 이상의 값을 나타냄에 따라 특수 모멘트골조 시스템에 적합하다고 판단된다.
- 4) 기준시험체인 No.1 시험체에서 추가적으로 하부철근, 철골 보웹브 스티드 등을 보강하면 내력, 초기강성, 에너지를 증가시킬 수 있고, 내력저하 및 정방향 강성 변화는 다른 시험체에 비해 작으나, 부방향 강성변화에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
- 5) 체크플레이트를 사용하지 않은 No.2 시험체는 기준 시험체인 No.1에 비해 초기강성을 정방향 85%, 부방향 88%로 초기강성을 저하시켰고, 최대내력을 정방향 100%, 부방향 101%, 에너지 흡수량을 88%로 증가시켰다. 따라서 체크플레이트 사용한다면 내력상승을 기대하기 어려우나, 부착력이 향상되어 초기강성 및 에너지양이 증가할 것으로 판단된다.
- 6) 철골보 웹에 스티드를 추가적으로 보강하였을 때 최대내력은 12% 증가한 것에 비해 에너지 양은 1%의 증가만을 보여 변형능력은 오히려 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. 그

리고 No.1 시험체에 대비하여 No.5 시험체는 최대내력이 8%크게 나왔으나 흡수한 에너지양은 7% 작게나옴에 따라 철골보 웹브 스티드 보강방법은 PC부 전단철근 보강방법보다 내력을 증가시킬 수 있으나, 에너지 및 변형능력을 저감시켜 구조성능면에서 PC부 전단철근 보다 효과가 저감될 것으로 판단된다.

- 7) 하부 철근을 추가적으로 보강하였을 때, 기준시험체에 비해 최대내력은 정방향으로 31%, 부방향으로 21%, 흡수한 에너지양은 13% 증가하였다. 그리고 최대내력 및 에너지양이 다른 실험체와 비교하였을 때 가장 크게 나타났고, 정방향 강성 저하 및 최대내력 이후 내력저하가 다른 시험체에 비해 가장 낮게 나타남에 따라 하부 철근을 추가적으로 보강한 방법이 다른 변수에 비해 구조적 성능을 가장 크게 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.
  - 8) 개선된 형태의 하부철근은 강판을 통해 철근의 정착 및 굽힘 가공을 생략할 수 있고, PC부재와 현장타설콘크리트와의 부착력 향상 및 철근 주위의 집중된 응력을 분산시켜 내력상승 및 에너지 흡수량을 증가시킬 수 있으므로 강재량 절감, 시공성, 구조성능을 향상시킬 것이라 판단된다.
- 마지막으로, 개발된 공법을 서울시내 현장에 시범적용함으로써, 실제 사용에 문제가 없음을 검증하였다.

## 참 조 현장 적용 사례

### 1.부재의 제작



보강PC 제작



H-형강 및 스티프너 제작

### 2.부재의 조립



보강PC와 H-형강 결합



보강PC와 H-형강 볼트조립

### 3.EG-Girder 현장 도착



EG-Girder 하차-1



EG-Girder 하차-2

#### 4.EG-Girder 설치

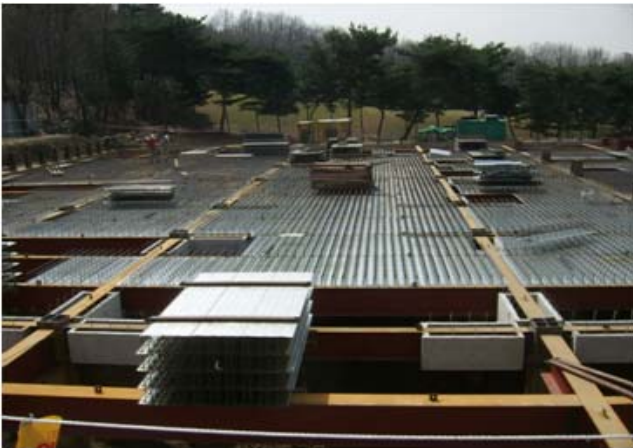


EG-Girder 설치



EG-Girder 접합

#### 5.DECK Plate 설치



#### 6.Slab Con'C 타설

