

DDC를 활용한 건식 보-기둥 모멘트 접합부의 내진 성능에 관한 연구

A Study on the Energy Dissipation Capacity of Precast Concrete Beam-Column Connection using DDC

홍 성 곁* 이상진**
Hong, Sung Gul Lee, Sang Jin

ABSTRACT

In this study, a simple moment-resisting precast concrete beam-column connection is proposed for highly seismic zone using dywidag ductile rod [DDC]. DDC is superior system for ductility, energy dissipation capacity, connection strength, and drift capacity. A study was carried out to investigate the connection behavior subjected to cyclic inelastic loading. Four Precast beam-column interior connections and one monolithic connection will be tested. The variables will be examined were the strength relationship between joint's ductile rod and beam reinforcement for gain energy dissipation capacity. The specimens will be tested only reverse cyclic loading in accordance with a prescribed displacement history. Connection performance is evaluated on the basis of ductility, energy dissipation capacity, connection strength, and drift capacity. the precast connection using DDC is capable of matching of exceeding the performance of the monolithic connection and thereby provides moment-resisting behavior

1. 서론

오늘날까지 PC 구조물은 기준의 미비로 인하여 시공성 측면에서만 높은 평가를 받아온 것이 사실이다. 속도의 범위에서는 PC 구조의 가능성을 익히 인정하여 왔으나 모멘트 접합부로서의 신뢰성이나 연성 거동 능력은 RC 구조물에 비하여 인정받지 못하고 있으나 이는 경험과 기술의 부족에 의한 것이지 PC 구조물 자체의 문제는 아니다. 그러나 건설 환경이 급변하면서 특히 과거의 재건축위주의 사업의 한계 속에서 리모델링의 관심이 커지고 재건축 연한이 법적으로 40년으로 늘어남에 따라 기존 구조물에 추가적인 확장성등을 확보할 수 있는 PC 구조물에 다시금 그 관심이 높아지고 있다. 본 실

* 정희원, 서울대학교 건축학과 부교수

** 정희원, 서울대학교 건축학과 석사과정

험적 연구에서는 Dywidag Ductile Rod를 이용하여 PC 보-기둥 접합부의 Moment-resistance와 Energy-dissipation capacity를 동시에 확보 할 수 있는 방법을 찾고자 한다.

2. 공법

2.1 DDC 시스템 공법(Ductile rod 연결 공법)

DDC 시스템 공법은 Dywidag사에 의하여 80년대에 개발되어 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 주관하는 PRESSS Program의 실험에서 그 효율성이 검증된 방법이다. DDC 시스템 공법은 Beam Transfer Block을 통하여 토와 기둥을 볼트 접합으로 간편하게 시공할 수 있으며, 기둥 내에 Ductile rod를 삽입하고 보 주근을 Thread bar 라는 High strength steel을 사용하여 기존의 보 단부에서 항복이 일어나는 것과 달리 기둥 안쪽의 Ductile rod으로 항복을 유도한 것을 특징으로 한다. 볼트 접합으로 시공이 매우 간편하고, 연성능력이 우수하며 콘크리트에 작용하는 피해를 최소화 할 수 있다.

DDC 시스템 공법에서 가장 핵심적인 요소는 Ductile rod이다. Ductile rod은 일반 연성 강재를 재료로 하여 신장력이 매우 뛰어나도록 제작되었으며, 이 부분에 Post tensioning을 가하여 self centering을 할 수 있는 힘을 가지게 된다. 아래의 monolithic 구조물의 이력곡선과 비교해보면 그 차이를 명확히 알 수 있다. 구조물의 모든 변형이 이 부분에 집중되게 된다. Ductile rod는 소성 변형을 일으키더라도 연성능력이 우수하고 압축력이 매우 크게 작용하는 기둥 내부에 삽입되어 있기 때문에 콘크리트에 많은 손상을 일으키지 않는다. 또한, DDC 시스템에서는 Ductile rod의 머리부분 중심에서 기둥 단면 쪽으로 퍼져나가는 Truss mechanism에 의해 보 기둥 접합부의 전단력에 저항하게 된다. 모든 energy dissipation mechanism이 이부분에 집중하게 되므로 joint에서의 shear demand 가 상당히 크다는 특징을 지닌다.

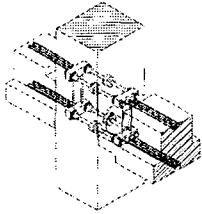


그림-1 DDC System

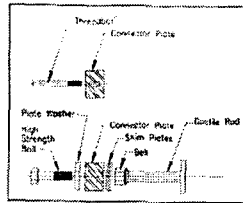


그림-2 DDC Hardware

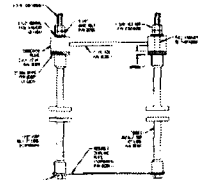


그림-3 DDC Joint assembly

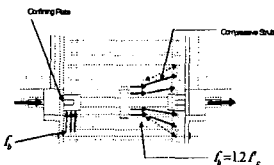


그림-4 DDC system shear transfer mechanism

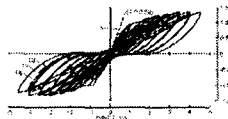


그림-5 DDC system's energy-dissipation history curve

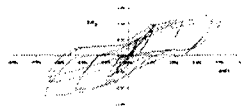


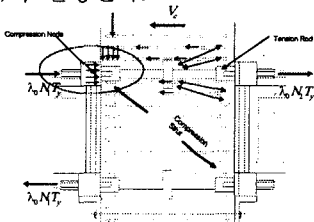
그림-6 Monolithic system's energy-dissipation history curve

2.1.2 변형 DDC 시스템 공법 (변형 Ductile rod 연결 공법)

본 향후 실험 연구에서는 기존의 DDC 시스템이 보-기둥 연결부이 Ductile rod에 소성 변형을 집중 한 방법에서 소성 변형 능력을 보 부분 까지 확장하여 Energy-dissipation capacity를 추가적으로 확보하는 방법으로 실험을 진행한다. 기존의 DDC 시스템이 Thread bar라는 High strength steel을 사용하여 보 부재의 strength를 rigid 한 상태로 유지하였으나 이는 Joint 가 파괴되는 상황에서 보 부재의 강성을 유지할 필요성이 없을 것이고 이 부분까지 Plastic Hinge Length를 늘림으로 해서 전체 system의 energy dissipation capacity, connection strength 그리고 dirft capacity를 보다 확보하고 값 싸고 손쉽게 구할 수 있는 일반 철근의 사용으로 시공성 및 경제성을 확보 할 수 있다.

2.2 DDC system mechanism

DDC system은 모든 소성 변형 능력을 접합부에 집중시키므로 접합부의 성능이 중요한 역할을 하며 접합부에서의 mechanism은 다음의 Fig-7과 같다.. 성능을 결정하는 주요 요소로 접합부의 전단응력의 흐름이 다음과 같은 식의 범위를 만족하여야 한다. Ductile Rod의 개수에 의하여 보-기둥 접합부의 전단응력(V_{jh})가 결정된다.



$$f_{c,bearing} = \frac{2\lambda_0 T_{yi}}{A_{bearing} - A_{rod}}$$

$$V_{jh} = 2\lambda_0 NT_0 - V_c$$

$$NT_y < NA_{sh} f_{yh}$$

그림-7 Load flow within a DDC beam-column joint

또한 항복 및 극한 상태의 변형이 모두 보-기둥 접합부에 집중되므로 보가 받을 수 있는 모멘트 성능 또한 Ductile Rod에 의하여 다음과 같이 결정된다.

$$M_n = NT_y(d - d')$$

2.4 향후 실험 계획

十字 형태의 보-기둥 접합부 기둥 상단에서 횡방향 반복 하중을 가하여 접합부의 강도 및 전체적인 구조물의 거동을 측정한다. 일반 Cast-in-place로 제작된 RCBC 시험체의 실험을 먼저 수행하고, PCBC 1, PCBC 2, PCBC 3 시험체의 실험을 차례로 수행하여 RCBC 시험체와의 energy dissipation capacity, dirft capacity를 비교한다. PCBC 1, PCBC 2, PCBC 3 시험체의 실험을 수행할 때는 Ductile rod과 보 주근의 강도 변화 따른 구조물의 거동 형태를 주의 깊게 관찰하고 항복이 일어나는 구간의 변형 형태를 면밀히 관찰한다.

표-1 시험체 명칭 및 종류

시험체 명칭	변수
RCBC	기준 시험체 (일반적인 Cast-in-place 보-기둥 접합 시험체)
PCBC 1	Ductile rod 사용, 보 주근의 강도
PCBC 2	Ductile rod 사용, 보 주근의 강도
PCBC 3	Ductile rod 사용, 보 주근의 강도

표-2 시험체 단면치수 및 특성

시험체	기둥			보		
	크기	철근	d-d'	크기	철근	d-d'
RCBC	762 x 350	4-D32	680	250 x 700	2-D32	575
PCBC 1	762 x 350	Ductile rod, 4-D32	680	250 x 700	Thread bar D-32	575
PCBC 2	762 x 350	Ductile rod, 4-D32	680	250 x 700	SS 400 D-32	575
PCBC 3	762 x 350	Ductile rod, 4-D32	680	250 x 700	SS 300 D-32	575

4. 결론

DDC를 사용하여 간단한 볼트 접합 방식을 통하여 보-기둥 접합부에 충분한 Energy-dissipation capacity와 drift capacity를 확보 할 수 있는 우수한 방법이다.. DDC system 사용에서 전제 되었던 보의 강성유지의 필요성에 대한 본 실험에서의 결론은 실험결과를 통해서 알 수 있을 것이다.. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) DDC system이 RC system과 비교하여 충분한 Energy-dissipation capacity와 drift capacity를 확보 할 수 있다.
- 2) 변형 DDC system에서 보 부재로의 L_p 를 통해서 추가적인 Energy-dissipation capacity와 drift capacity를 확보 할 수 있다.
- 3) DDC system 과 변형 DDC system의 파괴 양상이 다를 수 있다.

DDC system은 미국식 moment-frame 구조물에서와 같이 대부분의 joint를 pin 접합으로 처리하고 횡력을 받는 중요부분에만 적용하는 것으로 경제성이나 시공성에서 우수한 거동을 보이거나 우리나라에서는 널리 사용되지 않는 방법으로써 우리나라에서 널리 사용되기 위해서는 이러한 방식에 대한 폭넓은 이해와 PC구조물에 대한 경험이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 건설 핵심 기술 연구 개발사업[건설 기술 기반 구축 사업] 지원에 의하여 이루어 졌음을 밝히며 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Ali R. Khaloo and H. Parastesh, "Cyclic Loading of Ductile Precast Concrete Beam-Column Connection,"ACI structural Journal, V.100, NO. 3, 2003, pp. 291-296.
2. Ali R. Khaloo and H. Parastesh, "Cyclic Loading Response of Simple Moment-Resisting Precast Concrete Beam-Column Connection,"ACI structural Journal, V. 100, NO. 4, 2003, pp. 440-445.
3. S.U. Pillai and D.W. Kirk, "Ductile Beam-Column Connection in Precast Concrete,"ACI structural Journal, V. 78, NO. 6, 1981, pp. 480-487.
4. Prabhakara Bhatt and D.W. Kirk, "Test on an Improved Beam Column Connection for Precast Concrete,"ACI structural Journal, V. 82, NO. 6, 1985, pp. 834-843.
5. M. Seckin and H. C. Fu, "Beam-Column Connections in Precast Reinforced Concrete Connection ,"ACI structural Journal, V. 87, NO. 3, 1990, pp. 252-261.
6. Englekirk, R. E., Seismic Design of Reinforced and Precast Concrete Buildings, John Wiley and Sons, 2003, pp. 296-345.