



MRS 연속단 접합부의 구조상세에 따른 하중저항 메커니즘과 거동 특성

오영훈^{1)*} · 문정호²⁾ · 임주혁³⁾ · 최동섭⁴⁾ · 이강철⁵⁾

¹⁾건양대학교 건축학과 ²⁾한남대학교 건축학부 ³⁾삼성물산(주) 주택ENG팀 ⁴⁾(주)CS구조엔지니어링 ⁵⁾삼연PCE(주)

Load Resistance Mechanism and Behavior Characteristics of MRS Continuous Joints

Young-Hun Oh,^{1)*} Jeong-Ho Moon,²⁾ Juhyeuk Im,³⁾ Dong-Sup Choi,⁴⁾ and Kang-Chul Lee⁵⁾

¹⁾Dept. of Architecture, Konyang University, Nonsan 320-711, Korea

²⁾Division of Architecture, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea

³⁾Samsung C & T Cooperation, Seoul 137-956, Korea

⁴⁾CS Structural Engineering Inc., Seoul 135-854, Korea

⁵⁾Samyeon Precast Concrete Engineering Inc., Eumseong 369-852, Korea

ABSTRACT The purpose of study is to investigate the load resistance mechanism of MRS continuous joint designed with different details. Six full-scale specimens, which could simulate the negative moment region of the 8 m long MRS system, were prepared to evaluate the structural performance of the continuous joint. According to the experimental results, all specimens which include the specimen with dapped ends designed by loads at the construction stage were failed in a flexural manner and showed the load carrying capacity over the nominal flexural strength. Therefore it is recommended that the dapped ends for MRS continuous joints be designed for the loads of the construction stage. And the shear key, which was installed on the top of rib for MRS slab, helps the enhancement of strength and especially deformation capacity.

Keywords : MRS, continuous joint, dapped ends, construction stage, shear key

1. 서 론

지하주차장 또는 물류센터와 같은 고하중장경간 건축물에 더블티 슬래브 등을 사용한 프리스트레스 PC공법을 적용하는 사례가 증가하고 있다. 더블티 시스템은 프리캐스트 슬래브 공법 중에서 구조체의 중량에 대한 구조성능 효율을 극대화한 시스템으로 평가되고 있으며, 국내에서도 할인매장과 지하주차장 등의 시공에 효과적으로 적용되었다. 특히 지하주차장 건설시 프리스트레스 PC공법을 적용할 경우 기존 RC조의 3대 주차모듈(7.5m×6.5 m)을 4대의 주차모듈(10m×6.5~8 m)로 전환할 수 있으며, 단위차량의 주차면적을 가장 작게 할 수 있는 것으로 평가되었다.¹⁾

더블티 시스템을 사용한 프리스트레스 PC공법은 바닥 슬래브에 작용하는 수직하중을 큰 보를 통하여 기둥으로 전달하는 구조시스템으로 구성된다. 이때 더블티와 큰 보는 층고절감을 위하여 댕단부(dapped end)와 렛지(ledge)를 갖도록 계획하고 있으며, 더블티의 댕단부와 큰 보의

렛지로 구성되는 바닥 슬래브의 지점은 단순지지 상태로 구축된다.^{2,3)}

이 연구의 MRS 슬래브 시스템은 더블티와 유사한 단면형상을 갖고 있지만, 슬래브의 단부를 연속단으로 설계할 수 있는 프리스트레스 콘크리트 바닥구조 시스템이다. 즉 MRS 시스템은 단부의 리브 폭을 최대 2배로 확장하고 동시에 마구리를 설치하여 연속단 접합부에서 압축영역의 콘크리트 단면적을 증가시킬 수 있고, 부모멘트에 저항하는 인장철근비를 최대철근비 이하로 설계할 수 있다. 또한 MRS에 설치된 마구리는 큰 보의 렛지와 접촉하는 면적을 크게하여 지압강도를 충분히 확보할 수 있으며, 덧침 콘크리트 타설시 거푸집의 역할도 하게 된다.^{4,6)}

따라서 MRS 슬래브 시스템의 연속단 접합부는 일반적인 더블티 시스템과 다른 양상의 하중저항 메커니즘을 보여줄 것으로 예상되며, 이러한 하중저항 특성을 반영하여 MRS 시스템의 연속단 접합부에 대한 구조상세를 개발할 필요가 있다. 이에 이 연구에서는 MRS의 댕단부 설계방법과 PC와 덧침 콘크리트간의 접합면 상태와 같은 구조상세를 변수로 설정하고, MRS 연속단 접합부의 하중저항 메커니즘과 거동 특성을 평가하고자 하였다.

*Corresponding author E-mail : youngoh@konyang.ac.kr

Received October 30, 2009, Revised January 22, 2010,

Accepted February 5, 2010

©2010 by Korea Concrete Institute

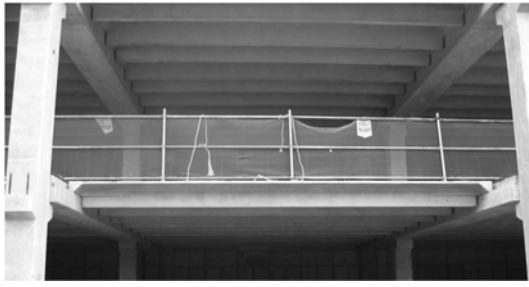


Fig. 1 MRS system for constructing a 2-story parking structure

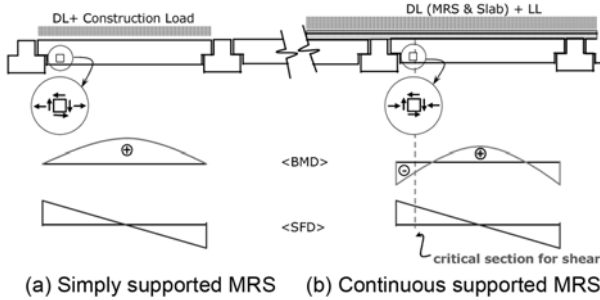


Fig. 2 Stress of MRS system with construction stage

2. MRS 연속단의 하중저항 메커니즘과 설계

Fig. 1에서는 지하주차장을 시공할 경우 MRS 슬래브 시스템을 사용하여 지하층의 역T형보와 지붕층의 하프보에 동시에 조립된 상황을 보여주고 있다. 큰 보에 지지되는 MRS의 단부는 걸침부분의 지압면적을 크게 할 수 있도록 마구리의 날개가 설치되어 시공과정의 오차를 충분히 흡수할 수 있으며, MRS의 전체 폭이 지압부분이 되므로 별도의 베어링패드를 설치하지 않아도 우수한 시공성과 지압강도를 제공할 수 있다.

MRS 시스템은 Fig. 2(a)와 같이 시공단계에서 단순지지 상태에 있으므로, 이때 작용하는 고정하중과 시공하중은 MRS의 댁단부를 통하여 PC보에 전달할 수 있도록 설계하여야 한다. 그러나 덧침 콘크리트 슬래브가 양생된 이후의 완성단계에서 MRS 시스템은 연속단 접합부로 거동하게 되므로, MRS의 댁단부는 Fig. 2(b)와 같이 부모멘트에 의한 압축응력이 작용하게 된다. 따라서 MRS 연속단 접합부를 구성하는 댁단부는 Table 1과 같이 시공상태의 하중(CL)만으로 전단설계를 수행하여도, 완성단계에서는 사용하중(FL)을 연속단 접합부의 휨저항 메커니즘에 의해 큰 보로 전달하는데 문제가 없을 것이라 판단된다.

한편 MRS 댁단부의 전단설계는 지점반력으로 작용하는 계수하중을 저항할 수 있도록, PCI 설계규정에 따라 댁단부의 정모멘트 보강근(A_{s3}) 및 직접전단 보강근(A_s 및 A_{sh})과 단면변환부의 사인장 보강근(A_{sh}), 그리고 끝단부의 사인장 보강근(A_v)을 산정하는 것이다. 이때 댁단부의 전단설계를 위한 계수하중은 앞서 기술한바와 같이 완성 후 사용상태에서 작용하는 활하중과 부가적인 하중을 포함한 사용하중(FL)은 연속단 접합부의 휨거동에 의

Table 1 Load resistance mechanism of MRS joint with construction stage

Stage	Load resistance mechanism of MRS joint
Construction (simple support)	<p>CL : construction stage load</p> <p>(CL = self-weight of member and topping+construction load+impact)</p>
Completion (continuous support)	<p>FL : final stage load</p> <p>(FL = live load+superimposed load+additional finish)</p>

해 전달될 수 있으므로, 시공과정의 하중(CL)만을 고려할 수 있을 것이다. 이에 이 연구에서는 실무설계에서 단순보로 간주하여 MRS 댁단부의 전단설계를 수행하는 관행에 의해 도출된 배근상세와 시공단계에 따라 댁단부의 하중저항 메커니즘의 변화를 반영한 배근설계의 차이가 가져올 MRS 연속단 접합부의 강도와 파괴거동을 실험으로 확인하고자 하였다.

3. 실험 계획 및 방법

3.1 실험 계획

MRS 연속단 실험체는 하중저항 메커니즘을 고려한 댁단부의 설계방법, 댁단부의 형상, 덧침 콘크리트와의 접합면 상태를 실험변수로 총 6개의 실험체를 구성하였다. MRS 연속단 접합부에 대한 실험체의 제원과 실험변수는 Fig. 3과 Table 2에 나타나 있다.

모든 실험체는 MRS 기본모듈 폭의 1/2 만을 대상으로 계획하여 Fig. 3(i) 및 (j)와 같이 1개의 리브를 갖도록 구성하였다. MRS 연속단 접합부 실험체는 8m의 경간을 갖는 지하주차장 건물의 모멘트 반곡점 부분을 대상으로 실험체를 계획하였으며, 모두 실험크기로 구성하였다.

실험체는 직각형태의 댁단부 형상을 갖고 있는 MRS-A 시리즈와 댁단부 단면변환부의 모서리를 경사지게 계획한 MRS-B 시리즈로 구분하였다. MRS-A1 실험체는 댁단부의 전단설계를 위한 계수하중으로 고정하중과 활하중($1.4V_D+1.7V_L$)을 모두 고려하였으며, MRS-A2 실험체는 시공상태의 하중을 고려하기 위하여 고정하중($1.4V_D$)만을 저항하도록 설계하였다. 마찬가지로 MRS-B1 실험체는 댁단부의 전단설계를 위한 계수하중으로 고정하중과 활하중($1.4V_D+1.7V_L$)을 모두 고려한 것이며, MRS-B2 실험체는 고정하중($1.4V_D$)만을 저항하도록 댁단부를 설계하였다. 또한 MRS 슬래브와 덧침 콘크리트의 접합면 상태는 6mm 거칠기((MRS-A1, A2, B1 및 B2)를 계획하였으며, 접합면의 상태가 구조성능에 미치는 영향을 평가하기 위하여 레이턴스 존치상태(MRS-BL) 또는 전단키 설치(MRS-BS)를 계획하였다.

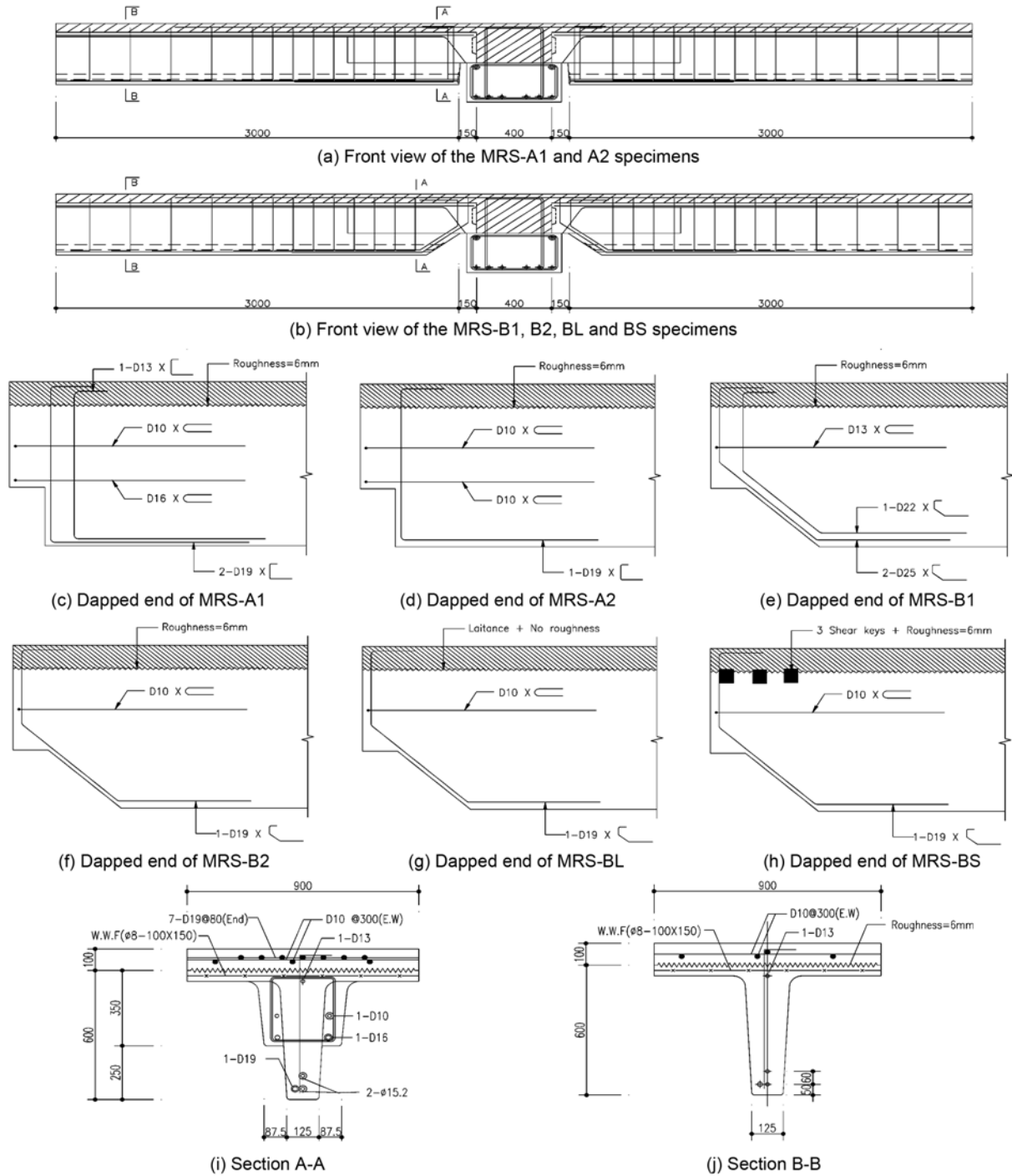


Fig. 3 Configuration and dimension of specimens

실험체의 콘크리트는 PC부재는 40 MPa, 덧침 콘크리트는 24 MPa을 설계기준강도로 계획하였다. 실험체의 보강근은 저이완 7연선($f_{pu}=1957$ MPa)과 SD 400의 이형 철근($f_y=400$ MPa)을 사용하는 것으로 계획하였다.

실험체는 PC공장에서 공장제작 방식에 의하여 PC 부재를 제작하여 연속단 접합부를 조립하고, 접합부의 부모멘트 철근과 슬래브의 상부근을 배근한 후 덧침 콘크리트를 타설하였다. 양생은 PC 부재의 경우 1일간 증기 양생과정을 거쳤으며, 덧침 콘크리트는 현장에서의 조건과 동일하게 상온에서 양생하였다. 콘크리트의 압축강도

를 측정하기 위한 공시체는 실험체와 동일한 조건으로 양생하였다. Table 3에서는 MRS와 덧침 콘크리트로부터 제작한 콘크리트 공시체와 연속단의 상부에 배근한 철근의 인장시험편으로부터 측정 한 재료시험 결과를 보여주고 있다.

3.2 실험 방법

MRS 연속단 실험체는 접합부의 부모멘트에 대한 접합부의 저항성능과 하중저항 메커니즘을 평가하기 위한

Table 2 Experimental variables for specimens

Specimen	Details of dapped ends		
	Design shear	Horizontal rebar	Interface
MRS-A1	$1.4V_D + 1.7V_L$ (=270kN)	Top 2-D10 Mid. 2-D16 Bot. 2-D19 +1-D13	6 mm roughness
MRS-A2	$1.4V_D$ (= 74 kN)	Top 2-D10 Mid. 2-D10 Bot. 1-D19	6 mm roughness
MRS-B1	$1.4V_D + 1.7V_L$ (= 270 kN)	Top 2-D13 Mid. - Bot. 2-D25 +1-D22	6 mm roughness
MRS-B2	$1.4V_D$ (= 74 kN)	Top 2-D10 Mid. - Bot. 1-D19	6 mm roughness
MRS-BL	$1.4V_D$ (= 74 kN)	Top 2-D10 Mid. - Bot. 1-D19	Smooth with laitance
MRS-BS	$1.4V_D$ (= 74 kN)	Top 2-D10 Mid. - Bot. 1-D19	Shear key

Table 3 Mechanical properties of concrete and rebar

Specimen	Concrete strength at the test day		Flexural reinforcement for negative moment			
	PC (MPa)	Topping (MPa)	f_y (MPa)	ϵ_y	E (MPa)	f_u (MPa)
MRS-A1	48.2	24.9	440	0.00239	184,100	622
MRS-A2	48.2	34.1				
MRS-B1	46.9	24.9				
MRS-B2	48.2	39.5				
MRS-BL	44.3	34.1				
MRS-BS	49.1	34.1				

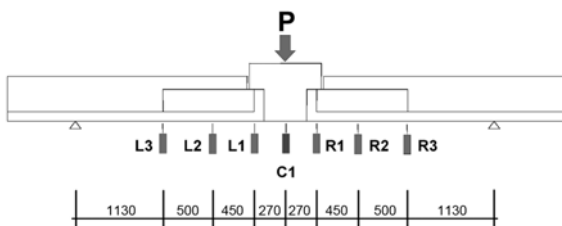


Fig. 4 Test setup for specimens

휨실험이므로, Fig. 4와 같이 접합부 상부의 덧침 콘크리트 부분에서 인장력이 작용하도록 단순보 형태의 가력조건을 적용하였다. 실험체의 중앙부에는 LVDT를 설치하여 수직변위를 측정하였다.

하중 가력은 변위제어방식의 단조가력방식을 적용하였으며, 실험은 실험체의 완전파괴 또는 최대하중에 도달한 이후 하중이 감소하여 최대내력의 75%에 도달될 때

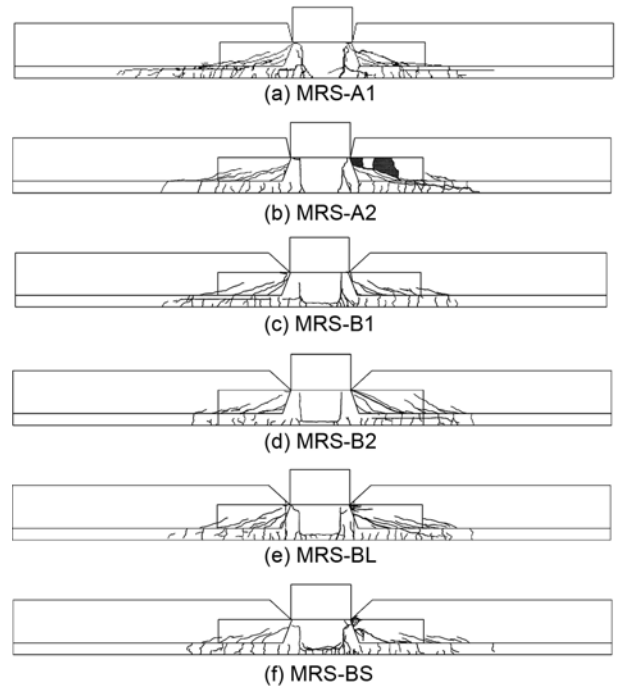


Fig. 5 Cracking of specimens

까지 연속적으로 진행하였다. 실험체의 가력은 10,000 kN 만능시험기를 사용하였으며, 작용하중은 실험체의 가력면에 설치한 1,000 kN 로드셀을 사용하여 계측하였다. 실험 중 발생한 균열은 200 mm의 격자형으로 구획한 실험체 표면에 균열의 위치와 작용하중을 직접 표시하고 사진으로 기록하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 균열 발생 및 파괴 특성

모든 실험체의 초기균열은 접합부의 덧침 콘크리트와 MRS가 만나는 접합면 위치를 따라 수직 휨균열로 나타났다. 이후 경간의 중앙부에 휨 및 휨전단 균열이 다수 발생하였으며, 하중과 변위가 증가함에 따라 경간 중앙부의 하프보 스테리프 위치에 형성된 휨균열 폭이 크게 벌어지는 휨거동의 특성을 보여주었다.

실험체의 최종파괴는 하프보와 맞닿는 부분에서 MRS의 콘크리트가 압괴되는 현상과 더불어 사인장균열의 폭이 크게 확대되면서 나타났다. 한편 MRS-A1, MRS-B1 및 MRS-B2 실험체는 항복을 경험한 실험 후반부에서 슬래브의 덧침 콘크리트 접합면을 따라 수평균열이 나타났지만, 최종파괴로 진전되지는 않았다. 실험체의 균열 발생상황은 Fig. 5에 나타나 있다.

Table 4에서는 실험과정에서 관찰한 초기 휨균열과 복부 전단균열의 발생하중을 보여주고 있다. 이러한 균열하중은 설계기준의 휨균열강도(M_{cr})와 콘크리트의 전단강도(V)와 비교하였다. 그 결과에 의하면 휨균열하중은 설계기준의 강도에 비하여 17~94% 크게 나타나고 있으

며, 전단균열하중은 7~22% 정도 실험 결과가 설계기준보다 낮게 나타났다.

실험체의 균열상황과 파괴특성은 MRS의 댁단부 설계

하중이나 댁단부의 단면변환부 형태 또는 접합면의 상태 (6 mm 거칠기, 레이턴스 존치, 전단키 설치)와 같은 실험변수와 연관지어 나타난 특징은 없는 것으로 판단된다.

4.2 하중-변위 관계

Fig. 6에서는 각 실험체에 대한 하중-변위 관계를 보여주고 있다. 모든 실험체는 중앙부 처짐이 약 20 mm에 이르렀을 때 인장철근이 항복하면서 부재의 강성이 변화하는 항복상태를 보여주고 있다. 항복한 이후 실험체의 내력은 최대내력에 도달할 때까지 완만하게 증가하는 추세를 나타내고 있다.

MRS-A1, MRS-B1 및 MRS-BS 실험체는 내력의 저하를 나타내지 않고 경간 길이의 1.8% 이상에 이르는 최대변위(85 mm 이상)를 보여주고 있다. 반면 MRS-A2, MRS-B2 및 MRS-BL 실험체는 경간 길이의 1.0~1.2%의 최대변위에 도달했을 때 내력이 저하하는 결과를 나타내

Table 4 Comparison of cracking strengths

Specimen	Observed		Predicted		Observed / predicted	
	Flexural cracking (kN)	Shear cracking (kN)	$\frac{2M_{cr}}{a^*}$ (kN)	$2V_c$ (kN)	Flexural cracking	Shear cracking
MRS-A1	67	186	55	238	1.22	0.78
MRS-A2	75	212	64	238	1.17	0.89
MRS-B1	82	204	55	236	1.49	0.86
MRS-B2	81	186	69	238	1.17	0.78
MRS-BL	85	201	64	230	1.33	0.87
MRS-BS	124	224	64	240	1.94	0.93

*Shear span

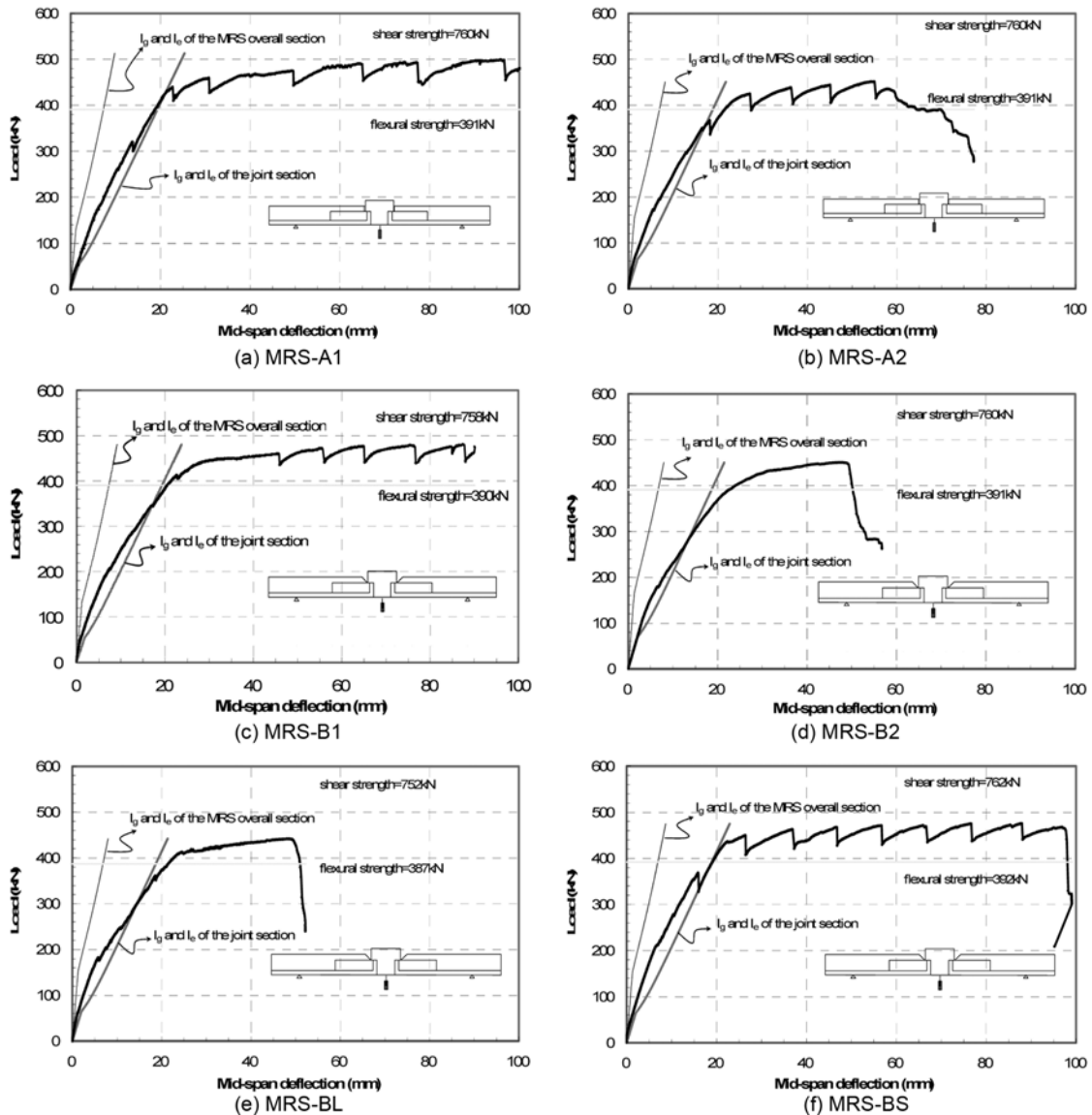


Fig. 6 Load-midspan deflection relationship

Table 5 Comparison of test and calculated strengths for specimens

Specimen	f'_c at test day		f_y (MPa)	ρ / ρ_b	Test strength P_{max} (kN)	Calculated strength		$\frac{Test\ strength}{Cal.\ strength}$	Interface shear strength		Predicted failure mode
	PC (MPa)	Topping (MPa)				$2M_n / a^*$ (kN)	$2V_{n(min)}$ (kN)		F_{hu} (kN)	V_{hn} (kN)	
MRS-A1	48.2	24.9	440	0.67	513	391	760	1.31	1196	3714	Flexure
MRS-A2	48.2	34.1	440	0.67	451	391	760	1.15	1196	3714	Flexure
MRS-B1	46.9	24.9	440	0.67	480	390	758	1.23	1196	3714	Flexure
MRS-B2	48.2	39.5	440	0.67	450	391	760	1.15	1196	3714	Flexure
MRS-BL	44.3	34.1	440	0.67	442	387	752	1.14	1196	3714	Flexure
MRS-BS	49.1	34.1	440	0.67	475	392	762	1.21	1196	3714	Flexure

*shear span

었다. 그러므로 MRS 연속단 실험체는 모두 부재의 항복을 경험하였으며, 이후 경간 길이의 1.0%에 해당하는 변형상태까지 내력의 저하없이 비탄성 변형을 지속하는 연성적인 휨거동을 보여주었다.

MRS 연속단 접합부를 구성하는 MRS 부재는 중앙부와 단부에서 단면특성이 다르게 나타나는 변단면 부재이므로 실험체의 강성을 적절하게 산정할 필요가 있다. Fig. 6에서는 MRS의 중앙부와 접합부 단면에 대한 단면2차모멘트(I_g)와 유효단면2차모멘트(I_e)를 사용하여 계산한 탄성강성을 각각 가는 직선과 굵은 직선으로 보여주고 있다. 이러한 탄성강성은 접합부 단면과 MRS 단면에 대하여 각각의 휨균열강도(M_{cr})에서 기울기가 변화하는 직선으로 표현되었다. 모든 실험체의 초기강성은 MRS의 중앙부와 접합부 단면에 대한 탄성강성의 계산값 사이에 존재하고 있다. 따라서 MRS 연속단 접합부의 초기강성은 접합부 단면의 탄성강성($E_c I_{eg}$)을 사용함으로써 안전측의 입장으로 평가할 수 있다고 판단된다. 또한 실험체의 항복변형은 접합부 단면의 유효단면2차모멘트를 사용한 강성($E_c I_{e}$)과 항복강도를 적용함으로써 유사한 예측을 보여주고 있다.

4.3 실험체의 강도 특성

각 실험체에 대한 공칭휨강도와 공칭전단강도를 산정하였으며, 실험에서 구한 최대내력과 비교하여 실험체의 강도 특성과 파괴모드를 평가하였다. 그리고 덧침 콘크리트 접합면에서 산정한 수평전단강도와 접합면의 전단력을 비교함으로써 덧침 콘크리트 접합면에서 나타난 수평균열의 특성을 평가하였다.

실험체의 휨강도는 모멘트에 대한 위험단면을 형성하게 되는 MRS와 하프보의 접합면 위치에서 설계기준의 공칭휨강도 산정식⁷⁻⁹⁾을 사용하여 계산하였다. 이때 압축측 콘크리트는 Table 3에 나타난 덧침 콘크리트의 압축강도 시험 결과를 사용하였으며, 인장력은 부모멘트 철근과 슬래브 철근을 모두 고려하여 산정하였다.

MRS 연속단 실험체의 전단강도는 식 (1)⁷⁾을 사용하여 콘크리트의 전단강도(V_c)를 산정하고, 여기에 전단철근에 의한 전단강도(V_s)를 더하여 공칭전단강도(V_n)를 산정하

였다.

$$V_c = \left(0.16 \sqrt{f_{ck}} + 17.6 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \leq 0.29 \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad (1)$$

Table 5에서는 공칭휨강도와 공칭전단강도 중 작은 값으로 구한 계산값과 실험체의 최대내력을 비교하고, 실험체의 파괴모드를 평가하였다. 그 결과에 의하면 모든 실험체는 휨강도에 의해 내력이 지배되는 휨거동을 하는 것으로 분석되었으며, 실험체의 최대내력은 계산값에 비하여 14~31%의 높은 값을 나타내었다.

한편 맵단부의 전단설계시 고정하중과 활하중을 모두 고려한 MRS-A1 및 MRS-B1 실험체는 고정하중에 대해서만 맵단부의 전단설계를 수행한 MRS-A2, MRS-B2 및 MRS-BL 실험체의 경우 보다 공칭휨강도의 10~15% 정도 큰 값의 최대내력을 나타내었다. 그러나 고정하중만으로 맵단부의 전단설계를 수행하였지만 단부에 전단기를 설치한 MRS-BS 실험체는 공칭휨강도 보다 21% 큰 값의 최대내력과 경간길이의 2%에 이르는 연성적인 거동특성을 보여주었다.

한편 실험체의 PC와 덧침 콘크리트 간의 접합면에서 작용하는 수평전단력을 저항하기 위한 합성부재의 접합면 전단강도(V_{nh})는 식 (2)⁷⁾로 산정하였다.

$$V_{nh} = (1.8 + 0.6 \times \rho_v \times f_y) \times \lambda \times b_v \times l_{vh} \quad (2)$$

이러한 접합면 전단강도(V_{nh})는 휨강도에 도달하기 위하여 필요한 인장력($T=A_s f_y$)으로부터 발생한 수평전단력(F_h)과 비교할 때 3배 이상의 큰 값으로 나타나고 있다. 따라서 MRS-A1, MRS-B1 및 MRS-B2 실험체는 항복이후 접합면에서 일부 수평전단균열이 발생하였지만, 접합면의 미끄러짐 현상으로 진전되지 않았을 뿐아니라 최종 파괴에 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

4.4 인장철근의 변형률

MRS 연속단 실험체는 경간의 중앙점을 기준으로 좌우측의 250 mm 및 600 mm 떨어진 위치의 부모멘트 철근에 5개의 변형률 게이지(F1-F5)를 부착하였으며, Fig. 7

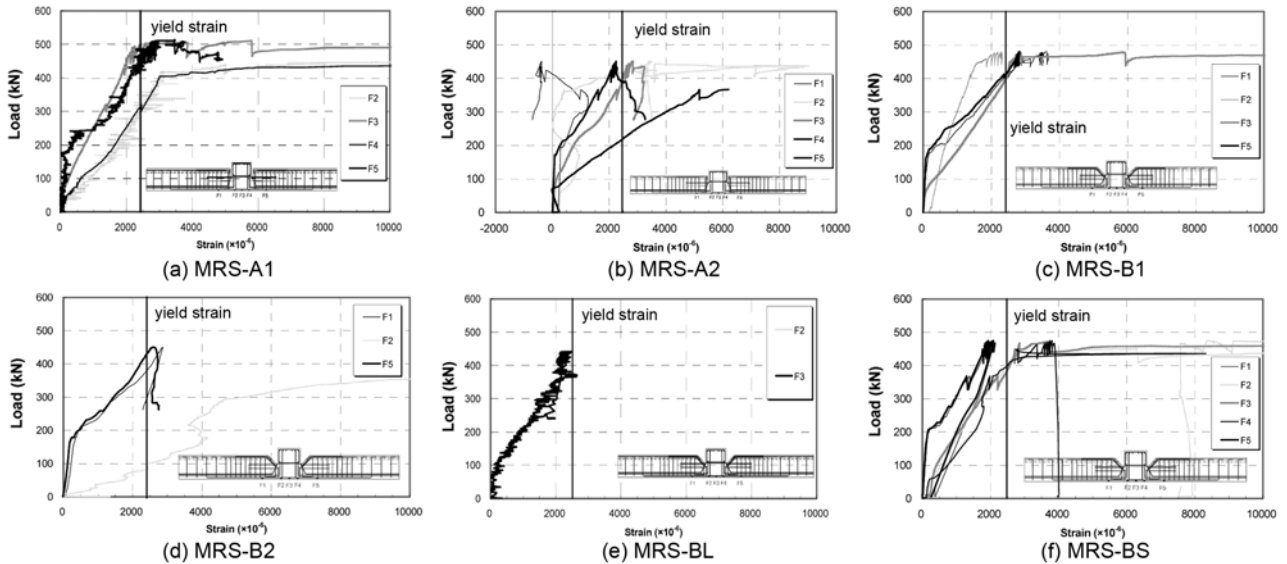


Fig. 7 Load-strain relationship of tensile reinforcements

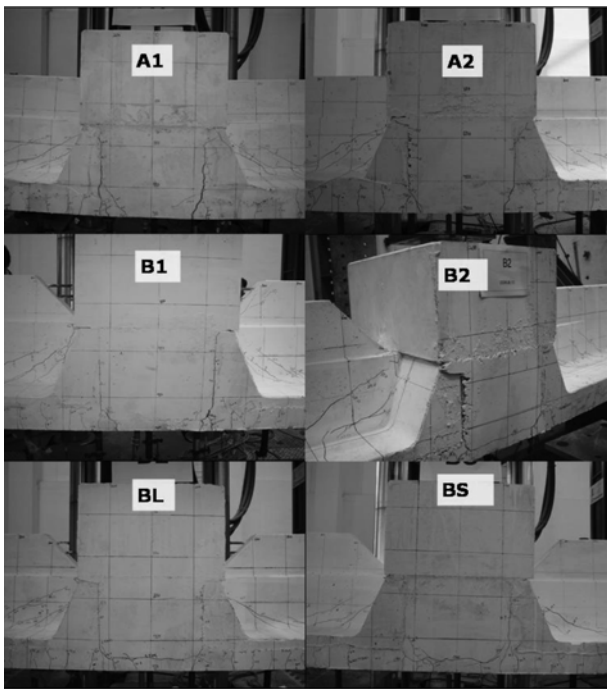


Fig. 8 Cracks at the yielding of flexural rebar

에서는 실험체별 하중-변형률 관계를 보여주고 있다. 모든 실험체의 인장철근은 항복변형률 보다 큰 변형률을 보여주고 있으며, 특히 연성적인 휨거동을 보여준 MRS-A1, MRS-B1 및 MRS-BS 실험체의 인장철근은 0.03 이상의 큰 소성변형률을 나타내었다.

한편 실험체의 인장철근이 항복변형률에 도달한 시점의 균열상황은 Fig. 8에서 보여주고 있으며, 이때 중앙부 처짐은 경간길이의 1/250에 해당하는 18~20 mm의 변위를 나타내었다. 각각의 실험체가 인장철근이 항복하는 변형에 도달했을 때의 균열상황을 Fig. 8에 나타내었으며, 모든 실험체는 경간 중앙부를 중심으로 거의 동일한 균열상황을 보여주었다.

5. 실험 결과의 평가

6개의 MRS 연속단 실험체는 모두 휨에 의해 지배되는 거동을 보여주었으며, 공칭휨강도를 상회하면서 최대 내력까지 완만하게 내력이 상승하는 결과를 나타내었다.

또한 시공단계에 따른 접합부의 하중저항 메커니즘을 평가하기 위하여 댄단부의 전단설계 계수하중을 $1.4V_D$ 와 $1.4V_D+1.7V_L$ 로 다르게 적용하여 실험을 수행하였으며, 어떠한 경우에도 댄단부의 전단파괴는 발생하지 않았다. 또한 댄단부의 전단설계를 위한 설계하중으로서 $1.4V_D$ 를 적용한 실험체의 경우에도 경간 길이의 1%에 해당하는 변형상태까지 연성적인 휨거동을 보여주었다. 따라서 MRS 연속단 접합부는 시공단계의 변화에 의해 나타나는 실제 응력상태를 고려하여, 댄단부의 전단설계를 수행하여도 접합부의 구조성능을 확보하는데 문제가 없을 것으로 판단된다. 즉 조립단계에서는 MRS가 단순 지지되므로 댄단부의 설계하중은 덧침 콘크리트와 자중, 그리고 시공하중을 고려하면 될 것이다. 그리고 완성단계에서는 덧침 콘크리트가 경화되어 MRS 부재가 연속단으로 형성되므로, 이때 작용하게 되는 적재하중과 상재하중 및 마감하중은 댄단부를 통하지 않고 연속단의 휨거동에 의해 접합부로 전달되는 것으로 평가할 수 있다. 이는 MRS 연속단 접합부의 댄단부는 조립단계에서는 인장응력을 주로 받지만, 구조물을 완성한 사용상태에서는 압축응력이 크게 작용하는 상태로 변화하므로, 댄단부의 전단설계는 인장응력을 받게 되는 조립상태에 대하여 충분한 안전성을 확보하도록 설계하면 될 것이라고 사료된다.

또한 MRS의 댄단부를 경사진 형상으로 설계한 실험체는 전통적인 댄단부 형상을 갖는 실험체와 비교할 때, 내력과 변형능력 면에서 큰 차이가 없는 것으로 판단되었다. 한편 모든 MRS 연속단 실험체에서 PC-덧침 콘크리트 접합면의 수평전단강도는 휨강도의 발현에 필요한 수

평전단력(F_h) 보다 큰 것으로 검토되었으며, 실제 실험과정에서도 접합면의 미끄러짐 변형에 의한 수평전단파괴는 발생하지 않았다. 특히 접합면에 레이턴스를 존치한 경우에도 MRS 연속단 접합부의 휨거동을 제한하는 결과로 이어지는 않았다. 한편 전단키를 설치한 MRS-BS 실험체는 조립단계의 시공하중만으로 댁단부의 전단설계를 수행함으로써 댁단부 전단철근량이 MRS-A1 및 MRS-B1 보다 훨씬 적게 배근된 점을 감안한다면 상대적으로 우수한 내력과 변형능력을 확보할 수 있는 결과를 보여주었다. 따라서 MRS의 댁단부에 전단키를 설치하는 방안은 실무적으로 적용할만한 구조상세이며, MRS 접합부의 연성적인 휨거동을 확보하기 위하여 필요한 조치라고 판단된다.

6. 결 론

이 연구에서는 댁단부 설계방법, 덧침 콘크리트 접합면의 상태, 댁단부의 형상 등의 구조상세가 MRS 연속단 접합부의 하중저항 메커니즘과 거동 특성에 미치는 영향을 평가하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 총 6개의 MRS 연속단 실험체는 모두 인장철근이 항복을 한 이후 경간길이의 1% 이상의 변형상태까지 급격한 내력의 저하현상을 나타내지 않고 완만하게 강도가 상승하는 휨거동을 보여주었다.
- 2) 댁단부의 전단설계를 위한 설계하중으로서 $1.4V_D$ 를 적용한 실험체도 경간 길이의 1%에 해당하는 변형상태까지 연성적인 휨거동을 보여주었다. 따라서 MRS 연속단 접합부의 설계는 시공단계의 변화에 따른 응력상태를 반영하여 댁단부의 전단설계를 수행하는 것이 타당하다고 판단된다.
- 3) MRS 연속단 접합부의 댁단부는 조립단계에서는 인장응력을 주로 받지만, 구조물이 완성된 사용상태에서는 압축응력을 주로 받게 된다. 그러므로 MRS 연속단 접합부에서 댁단부의 전단설계는 시공상태의 하중을 대상으로 수행하며, 완성단계에서 작용하는 활하중과 부가적인 하중은 연속단에 의해 저항하는 하중저항메커니즘으로 설계할 수 있다.

요 약 이 연구는 댁단부 설계방법, 덧침 콘크리트 접합면의 상태, 댁단부의 형상 등의 구조상세가 MRS 연속단 접합부의 하중저항 메커니즘과 거동 특성에 미치는 영향을 평가하였다. 댁단부의 전단설계를 위한 계수하중으로서 고정하중과 활하중을 고려한 실험체와 고정하중만을 대상으로 설계한 실험체는 모두 접합부의 연성적인 휨파괴를 보여주었다. 따라서 MRS 연속단 접합부의 댁단부는 시공단계에 따라 변화하는 응력상태에 맞게 댁단부의 전단설계를 한다면 실제 사용상태의 하중은 연속단의 휨저항 메커니즘에 의해 저항할 수 있다고 판단된다. 또한 접합면의 거칠기는 MRS 연속단 접합부의 휨강도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났지만 MRS 단부에 전단키를 설치한 구조상세는 변형능력을 향상시키는 결과를 보여주었다.

핵심용어 : MRS, 연속단 접합부, 댁단부, 시공단계, 전단키

- 4) MRS의 댁단부를 경사진 형상으로 설계한 실험체는 전통적인 댁단부 형상을 갖는 실험체와 비교할 때, 내력과 변형능력 면에서 큰 차이가 없는 것으로 판단되었다.
- 5) 조립단계의 하중만을 대상으로 댁단부의 전단설계를 수행하였지만 전단키를 설치한 MRS-BS 실험체는 내력과 변형능력의 측면에서 모두 우수한 거동을 보여주었으며, 실제 MRS 생산과정에 효과적으로 적용할 수 있는 구조상세라고 판단되었다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 삼성물산(주) 주택ENG팀의 연구비 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김상연, 이범식, 박광열, 이성복, 윤영호, “외국의 PC 주차장 건물 현황과 국내 아파트 지하주차장의 PC공법 적용 방안,” 콘크리트학회 학회지, 20권, 1호, 2008, pp. 34-40.
2. PCI Industry Handbook Committee, *PCI Design Handbook-Precast Prestressed Concrete*, 6th Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2005, 736 pp.
3. Mattock, A. H. and Theryo, T., *Strength of Members with Dapped Eeds*, PCI, Research Project No. 6, 1986, 218 pp.
4. プレハブ建築協會, *プレキャスト建築技術集成 第4編 R-PC の設計*, 2003, 354 pp.
5. 삼성물산(주) 건설부문, “일방향 PC 장선 슬래브의 접합상세 개발 및 구조성능 평가에 관한 연구,” 연구보고서, 삼성물산(주) 건설부문, 2007, 156 pp.
6. 삼성물산(주) 건설부문, “MRS 구조시스템의 접합상세 개발 및 구조성능 평가에 관한 연구,” 연구보고서, 삼성물산(주) 건설부문, 2008, 337 pp.
7. 한국콘크리트학회, *콘크리트구조설계기준 해설*, 한국콘크리트학회, 2008, 523 pp.
8. ACI Committee 318, *Uilding Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318M-05)*, American Concrete Institute, Michigan, 2008, 467 pp.
9. PCA, *Notes on ACI 318-02 Building Code Requirements for Structural Concrete*, American Concrete Institute, Michigan, 2008, 1026 pp.