

프리스트레스 콘크리트 일방향 장선구조로 구축한 MRS 연속단 접합부의 휨거동

Flexural Behavior of MRS Continuous Joints for the Prestressed Concrete One-way Joist Slab System

오영훈^{1)*} 문정호²⁾ 임주혁³⁾ 최동섭⁴⁾ 이강철⁵⁾
Oh, Young Hun Moon, Jeong Ho Im, Ju Hyeuk Choi, Dong Sup Lee, Kang Chul

Abstract

The purpose of this study is to propose and evaluate the continuous joint constructed with MRS system which is utilized for floor system in the parking structures or commercial retail buildings. Four specimens were fabricated and tested to examine the structural performance of the continuous joint with different joint detailing. Structural test for the specimens was undertaken to simulate the actual stress condition of the negative moment resisting connection in the prestressed precast concrete parking structures with 8m span. Based on the experimental results, the MRS system could be designed as the ductile continuous joint governed by flexural behavior. Therefore the MRS system developed in this study would provide a superior joint behavior to conventional double-tee system when constructing monolithic joint composed of simply supported precast members.

Keywords : MRS Joint, Underground parking structure, One-way joist slab, Continuous joint

1. 서론

최근 국내 건축분야의 PC공법은 지하주차장, 할인매장, 물류센터와 경기장 등의 시공에 활발하게 적용되어 왔다. 특히 PC공법을 적용한 아파트 지하주차장의 건설은 공기 단축 효과가 크게 나타나고, 지상층 공사를 위한 야적 및 작업공간으로 활용할 수 있으므로 많이 사용되고 있다. (김상연 등 2008)

그러나 지하주차장의 지붕층 바닥 상부는 토사를 적치하여 조정수를 식재하거나, 옥외 주차공간으로 활용하기 때문에 PC부재를 단순지지 시스템으로 구성할 경우 큰 강도와 강성을 필요로 한다. 그리고 단순지지로 구성된 PC공법으로 시공한 지하주차장 건물은 PC부재가 불연속 되는 부분에서 바닥 슬래브의 균열과 누수가 발생하여 사용성과 미관에 지장을 초래하는 상황이다(삼성물산 2007). 아울러 무지주 시공 또는 장경간의 공간구성을 가능하게 하기 위해서는 프리스트레스를 도입한 PC공법의 적용을 고려할 필요가 있다.

따라서 지하주차장의 바닥판을 단순지지로 구성된 PC공법의 문제점을 해결하면서 고하중의 작용과 무지주 시

공에 효과적으로 대응할 수 있는 PC공법을 개발할 필요성이 있다(삼성물산 2007 and 2008, PCI 2005, プレハブ建築協會 2003). 본 연구에서는 이러한 요구에 대한 해결방안으로서 프리스트레스를 도입한 일방향 장선구조인 MRS공법을 제안하고, MRS공법의 연속단 접합부에 대한 구조실험을 수행함으로써 휨거동 특성과 접합상세의 유효성을 평가하고자 하였다.

2. MRS공법 개발 및 설계

본 연구에서 제안한 MRS공법은 프리스트레스 강연선을 리브의 하단에 직선으로 배근한 슬래브로서 중앙부에서는 더블티와 유사한 단면형상이지만, 단부에서는 리브의 폭을 크게 한 변단면의 단면구성과 마구리의 날개가 달린 형태로 구성되어 있다. 이러한 MRS 단부의 구조상세는 조립과정의 안전성과 시공성을 향상시키고, 슬래브의 단부를 연속단으로 설계할 수 있도록 하기 위한 것이다. Fig. 1에서는 MRS의 단부 구조상세와 시공현황을 보여주고 있다.

MRS 시스템은 시공단계에서는 댄단부(dapped end)

1) 정회원, 건양대학교 건축학과 부교수

2) 정회원, 한남대학교 건축학부 교수

3) 정회원, 삼성물산(주) 주택ENG팀 부장

4) 정회원, (주)CS구조엔지니어링 소장

5) 정회원, 삼연PCE(주) 차장

* Corresponding author : youngoh@konyang.ac.kr 041-730-5615

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2010년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

를 통하여 단순지지 상태에서 하중을 지지하게 되며(PCI 2005, Mattock and Theryo, 1986), 덧침 콘크리트가 양생된 이후의 완성단계에서는 접합부에 배근된 부모멘트 철근과 콘크리트의 모멘트 저항성능에 의해 연속단을 구성할 수 있다.

따라서 단순지지로 시공되는 더블티와 비교할 때 MRS의 부재 춤은 줄어들 수 있으며, 완성단계의 MRS 접합부는 사용하중 상태에서 나타나는 단부의 균열발생을 제어할 수 있는 강도와 강성을 확보할 수 있다. 따라서 MRS 시스템은 기존의 더블티 슬래브에서 문제로 지적되고 있

는 단부의 균열과 누수문제를 최소화할 수 있다. 아울러 PC보 위에 설치되는 MRS의 단부는 걸침부분의 지압면적을 크게 할 수 있도록 마구리의 날개가 설치되어 있다. 따라서 시공오차를 충분히 흡수할 수 있으며, MRS의 전체 폭이 지압 부분이 되므로 별도의 베어링패드를 설치하지 않아도 우수한 시공성과 지압강도를 제공할 수 있다.

MRS와 PC보 간의 접합에서는 전단키를 두고, PC보의 측면과 70mm 정도로 이격된 MRS 마구리의 날개 부분에 덧침 콘크리트를 채워 도압에 의한 축력과 중력하중에 의한 부모멘트에 저항하기 위한 압축력을 효과적으로 전달할 수 있도록 하였다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획 및 실험체 제작

MRS 공법의 연속단 접합부는 지하층의 경우 고정하중과 차량에 의한 활하중에 저항하게 되지만, 지붕층은 부가적인 상재하중(조경 또는 옥외 주차장)의 작용에 의해 부재의 춤과 부모멘트의 크기가 달라진다. 즉 지붕층의 부재는 부모멘트의 크기가 크기 때문에 많은 양의 인장철근을 필요로 하며, 더블티 형태의 단면형상으로는 최대철근비를 초과하므로 MRS 공법에서는 단부의 리브부분을 변단면으로 설계하였다. 또한 MRS 댁단부의 끝단부를 경사진 형태로 만들고 경사 철근을 배근한다면 끝단부에서 발생하는 사인장균열을 억제하는데 유리할 것으로 판단되었다. 따라서 MRS 연속단 실험체는 부재의 위치(지붕층과 지하층)와 MRS 끝단부의 구조상세(직각 및 경사)를 변수로 설정하고, 접합부의 휨실험으로부터 파괴특성과 구조성능을 평가하고자 하였다. MRS 연속단 접합부에 대한 실험체의 변수와 형상은 Table 1 및 Fig. 2에 나타나 있다.

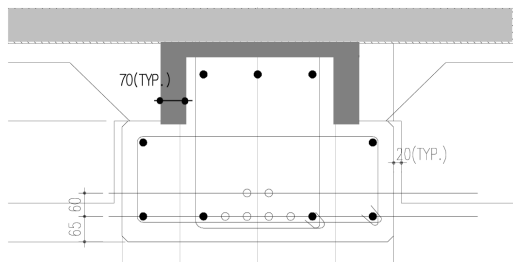
실험체의 크기는 1차 실험에서 처음에 실험한 MRS-A 실험체의 경우 실물치수의 3/4으로 계획하였으며, 축소모형 제작에 따라 전단철근으로 사용한 철근의 직경이 작아지고 덧침콘크리트의 두께가 얇게 되면서 예기치 못한 문제점이 나타났다. 따라서 MRS-A0, MRS-A1 및 MRS-B1 실험체는 모두 실물크기로 구성하였다. MRS 연속단



(a) MRS for the one-way joist slab



(b) MRS system at the continuous ends



(c) Joint details of MRS continuous joint

Fig. 1 MRS system for the one-way joist slab

Table 1 Dimensions and details for specimens

Specimen	Member location	Span (mm)	Depth (mm)		Slab			Rib No.	Rib Width (mm)		Concrete strength (MPa)		Reinforcement strength (MPa)		Negative moment rebar
			Center	Joint	Width (mm)	Thick. (mm)	Topping (mm)		Midspan	Ends	PC	Topping	fy	fpu	
MRS-A	Roof	3200	520	370	1500	110	70	2	125	220	35	24	400	1957	16-D16
MRS-A0	Basement	4700	500	290	2400	140	90	2	150	300	40	24	400	1957	16-D13
MRS-A1	Roof	4700	700	450	900	150	100	1	150	300	40	24	400	1957	7-D19
MRS-B1	Roof	4700	700	450	900	150	100	1	150	300	40	24	400	1957	7-D19

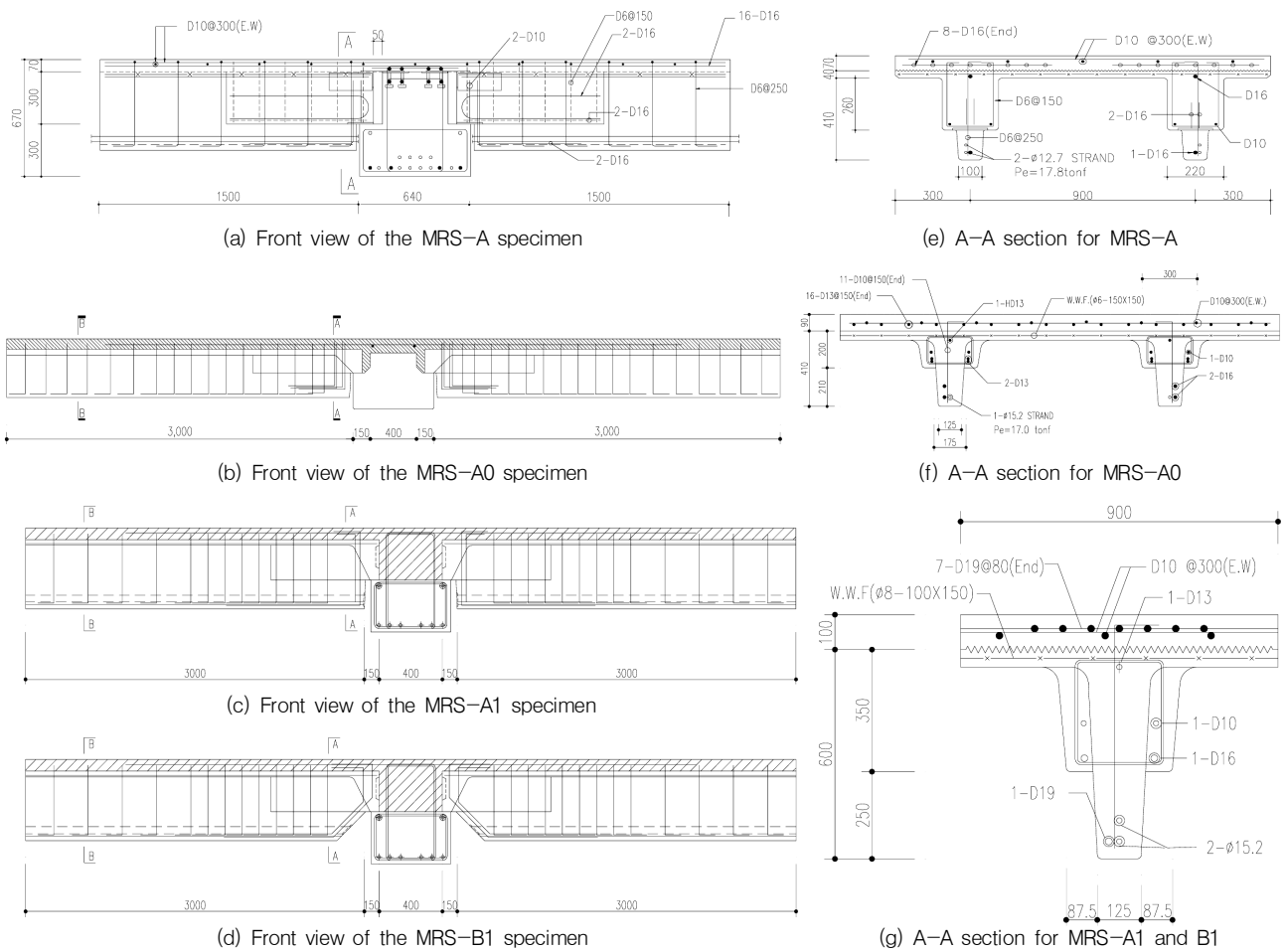


Fig. 2 Configuration and dimension of specimens

실험체는 대상건물로 선정된 8m 경간의 지하주차장에서 부모멘트 구간의 반곡점 부분을 선정하여 실제 응력상태를 구현하도록 계획하였다. MRS-A 실험체는 MRS의 단부에 PC공장에서 생산단계에 미리 매입한 스티드가 달린 플레이트를 사용하여 용접접합함으로써 시공상태의 가설 안전성을 확보하도록 계획한 것이다. MRS-A0 실험체는 지하층에 위치한 부재를 대상으로 연속단 접합부를 구성한 것이며, 2400mm의 슬래브 폭과 2개의 리브를 갖춘 실험체이다. 2차 실험에서는 지붕층을 대상으로 한 연속단 접합부의 거동을 평가하기 위하여 MRS-A1 및 B1 실험체를 계획하였다. MRS-A1 및 B1 실험체는 가력장치의 내부 폭이 1200mm로 제한되어 있으므로 기본모듈 폭의 1/2로 계획하여 Fig. 2(g)와 같이 1개의 리브를 갖도록 계획하였다. 따라서 MRS-A1 및 B1 실험체의 휨강도는 실제 MRS 연속단 접합부의 휨내력 값의 1/2 수준으로 나타날 것이다. 한편 MRS-A0, MRS-A1 및 MRS-B1 실험체는 댄단부와 전단기가 달린 마구리 날개로 부터 PC보의 랫지(Ledge)와 충분한 지압강도를 확보할 수 있다고 판단되어, 가설상태의 조립 안전성을 위하여 스티드가 달린 플레이트를 용접접합하는 구조상세는 배제하

Table 2 Mechanical properties of concrete and rebar

Specimen	Concrete strength at the test day		Rebar for negative moment			
	PC (MPa)	Topping (MPa)	f_y (MPa)	ϵ_y	E (MPa)	f_u (MPa)
MRS-A	45.2	32.3	502	0.00273	183820	738
MRS-A0	45.9	35.3	456	0.00230	197960	653
MRS-A1	48.2	24.9	440	0.00239	184100	622
MRS-B1	46.9	24.9	440	0.00239	184100	622

였다.

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 증기양생 과정을 거쳤으며, 덧침 콘크리트는 현장에서의 조건과 동일하게 상온에서 양생하였다. 콘크리트의 압축강도를 측정하기 위한 공시체는 실험체와 동일한 조건으로 양생하였다. Table 2에서는 콘크리트 공시체와 철근 시험편으로부터 측정된 재료시험 결과를 보여주고 있다.

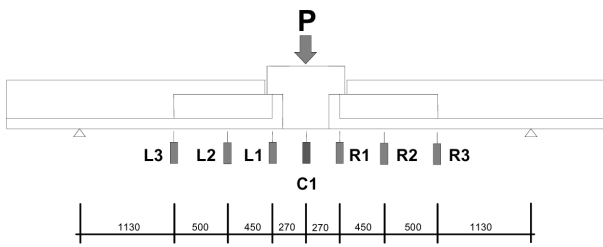


Fig. 3 Test setup for MRS-A0, A1 and B1

3.2 실험방법

MRS 연속단 실험체는 접합부의 부모멘트에 대한 저항 성능을 평가하기 위한 휨실험이므로, Fig. 3과 같이 경간의 중앙부에 LVDT를 설치하여 중앙부 수직변위를 측정하였다. 하중 가력은 변위제어방식에 의한 단조가력방식을 적용하였으며, 실험은 실험체가 완전 파괴되거나, 최대 하중에 도달된 이후 하중이 감소하여 최대내력의 75%에 도달될 경우까지 연속적으로 진행하였다.

MRS-A 및 MRS-A0 실험체는 부재 폭의 크기로 인하여 2000kN 용량의 강성 골조와 가력기를 사용하여 실험하였으며, MRS-A1 및 MRS-B1 실험체는 10,000kN 용량의 만능시험기에서 실험을 수행하였다. 변위제어는 실험체의 중앙부에서 측정한 LVDT의 변위를 기준으로 실험을 수행하였으며, 균열 발생시 마다 균열의 위치와 하중의 크기를 실험체 표면에 직접 표시하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 균열발생 및 파괴특성

MRS-A 실험체의 초기균열은 PC보와 MRS의 접합면 하단에서 휨균열로 발생하였으며, 이후 전체 경간에 걸쳐 실험체 하부의 슬래브에서 다수의 휨균열이 발생하였다. 하중 336kN 및 355kN에서는 각각 좌측과 우측의 리브에 전단균열이 발생하였으며, 작용하중이 증가하면서 좌측 MRS의 중앙부에 발생한 전단균열은 크게 확대되었다. 이후 실험체의 보강철근이 파단하는 소리가 발생하였으며, 최대하중과 동시에 좌측 MRS 중앙부에서 전단균열이 크게 벌어지면서 급격하게 하중이 감소하여 실험을 종료하였다. Fig. 4(a)에서는 실험체의 균열발생 및 최종파괴 상황을 보여주고 있다.

MRS-A0 실험체는 지하층에 위치한 MRS의 실제 크기와 배근상태를 적용한 실험체로서 Fig. 4(b)에서는 실험체의 균열발생 및 최종파괴 상황을 보여주고 있다. 실험체의 초기균열은 경간중앙부의 덧침콘크리트와 우측 MRS의 접합면을 따라 수직균열로 나타났으며, 이후 초기균열 발생 위치에서 균열폭이 커지면서 휨파괴에 이르렀다.

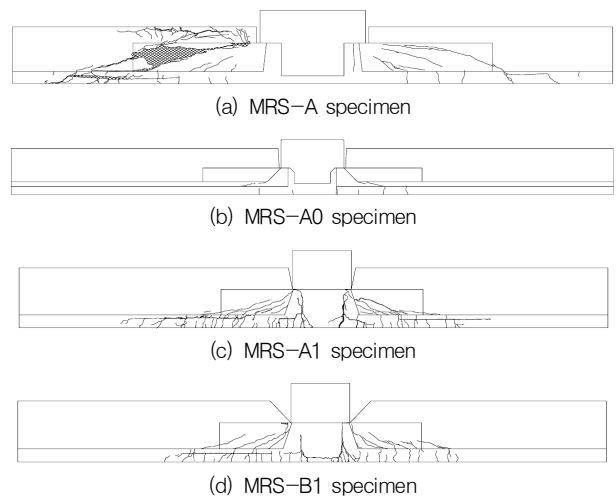


Fig. 4 Cracking of specimens

Table 3 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-A	99	336	86	354	1.15	0.95
MRS-A0	15	225	82	316	0.18	0.71
MRS-A1	67	186	55	238	1.22	0.78
MRS-B1	82	204	55	236	1.49	0.86

MRS-A1 실험체는 지붕층 MRS의 실제 크기와 배근상태를 적용한 것으로서 Fig. 4(c)에 실험체의 균열발생 및 최종파괴 상황을 나타내었다. 경간의 중앙 하부를 중심으로 휨 및 휨전단 균열이 다수 발생하였으며, 466kN의 하중에서는 슬래브의 덧침콘크리트 접합면을 따라 수평균열이 발생하였지만 최종적인 파괴로 이어지는 않았다.

MRS-B1 실험체는 지붕층 부재를 대상으로 경사진 형상의 댄단부를 갖는 실험체이다. Fig. 4(d)에서는 실험체의 균열발생 및 최종파괴 상황을 보여주고 있으며, 경간의 중앙 하부를 중심으로 휨 및 휨전단 균열이 다수 발생한 것을 보여주고 있다. 304kN의 하중에서는 좌측 MRS에서 슬래브의 덧침콘크리트 접합면을 따라 수평균열이 발생하였지만 최종적인 파괴로 이어지는 않았다.

Table 3에서는 실험체의 초기 휨균열 및 복부 전단균열이 발생한 하중을 휨균열 강도와 콘크리트 전단강도로부터 구한 계산값과 비교하여 보여주고 있다. 실험체의 휨균열 및 전단균열 발생강도는 계산값을 사용하여 대체로 양호한 범위에서 예측할 수 있는 것으로 나타나고 있다. 다만 MRS-A0 실험체의 휨균열 발생강도는 계산값 보다 매우 적게 나타나고 있는데, 이는 경간중앙부의 덧침콘크리트와 MRS 마구리가 만나는 접합면 부분이 밀실하게 콘크리트로 채워지지 못하면서 나타난 현상으로 판단된다.

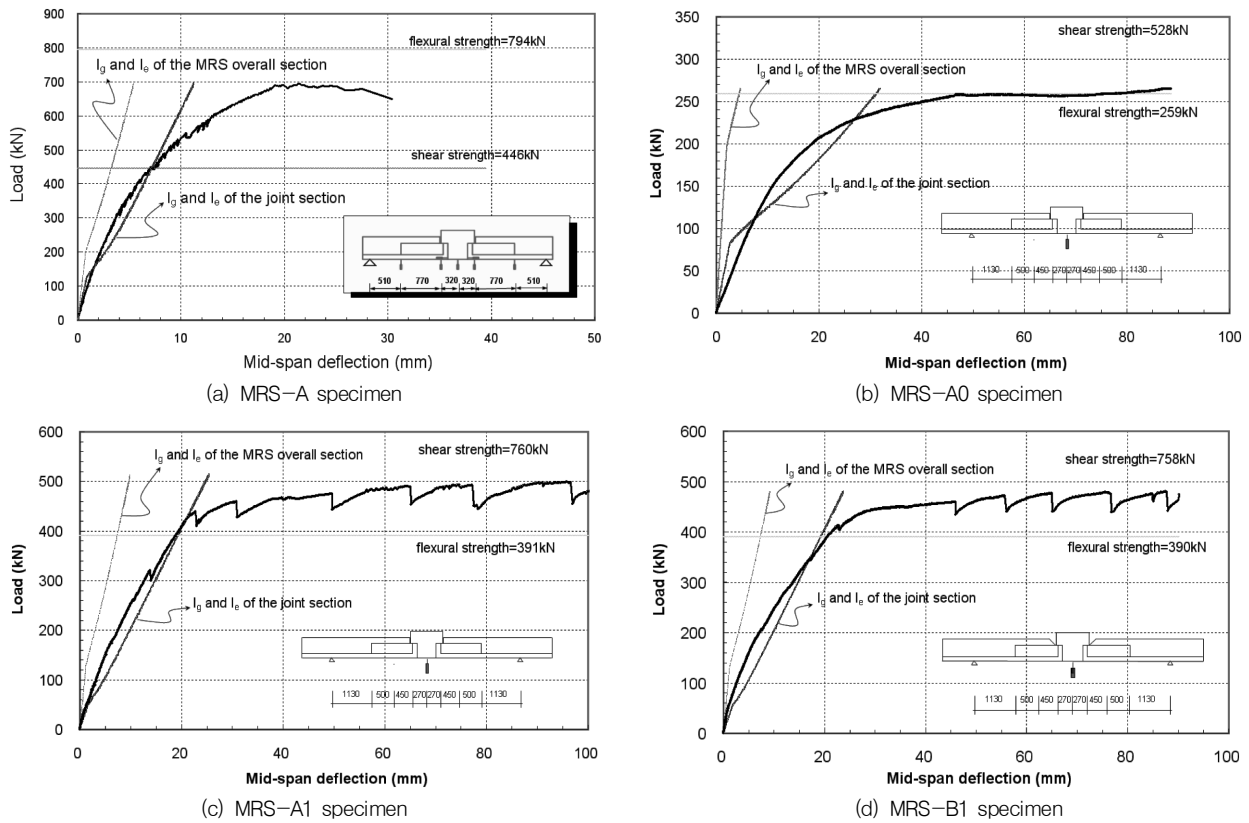


Fig. 5 Load-midspan deflection relationship

4.2 하중-변위 관계

MRS-A 실험체의 하중-변위 관계는 Fig. 5(a)에 나타나 있으며, 693kN의 최대하중에 도달할 때까지 변위가 증가함에 따라 하중도 증가하고 있다. 그러나 최대하중 이후에는 점차 하중이 감소하면서 30mm의 수직변위에서 파괴되는 취성적인 거동을 보여주고 있다. MRS-A0 실험체는 실험계획에서 휨강도에 의해 내력이 지배될 것으로 예상되었으며, Fig. 5(b)에 나타난 하중-변위 곡선은 항복하중에서부터 265kN의 최대내력과 실험종료 시점까지 하중이 미소하게 상승하는 전형적인 휨거동의 형태를 보여주고 있다. MRS-A1 및 MRS-B1 실험체의 하중-변위 관계는 Fig. 5(c) 및 Fig. 5(d)에 나타난 바와 같이 항복하중에서부터 최대내력을 거쳐 실험종료 상태까지 하중이 완만하게 상승하는 연성적인 휨거동을 보여주고 있다.

한편 Fig. 5에서는 MRS의 전체 단면에 대한 단면2차모멘트와 유효단면2차모멘트를 사용하여 계산한 탄성강성을 가는 직선으로 나타내고 있으며, 접합부의 단면을 사용한 단면2차모멘트와 유효단면2차모멘트로부터 구한 탄성강성은 굵은 직선으로 보여주고 있다. 그 결과에 의하면 MRS-A, MRS-A1 및 MRS-B1 실험체의 초기강성은 접합부 단면의 탄성강성($E_c I_g$)과 유사하거나 조금 크

게 나타나고 있다. 반면 MRS-A0 실험체는 Table 3에 나타낸바와 같이 휨균열강도의 18%에 해당하는 하중에 초기휨균열이 발생하면서 실험체의 초기강성도 작게 나타나고 있다. 이는 앞서 기술한 바와 같이 덧침콘크리트와 MRS 마구리가 만나는 접합면 부분에서 콘크리트가 밀실하게 충전되지 못한 결과에서 비롯된 것으로 판단된다. 한편 휨파괴 거동을 나타낸 MRS-A0, MRS-A1 및 MRS-B1 실험체의 경우, 공칭휨강도에 도달한 시점의 실험체 변위는 접합부 단면의 유효단면2차모멘트를 사용한 탄성강성($E_c I_e$)으로 구한 변위값과 유사하게 나타나고 있다. 따라서 MRS 연속단 접합부의 휨거동은 현장타설에 의한 일체식 구조와 동등한 성능을 보일 것으로 사료된다.

4.3 최대강도와 파괴모드의 평가

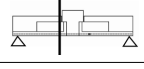
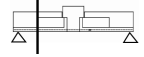

실험으로부터 얻어진 MRS 연속단 실험체의 최대강도는 휨강도, 전단강도 및 덧침콘크리트 접합면에서 산정한 수평전단강도 계산값과 비교하여, 실험체의 강도와 파괴특성을 분석하였다.

MRS 연속단 실험체의 휨강도는 MRS와 PC보의 접합면(Table 4의 ①)과 MRS와 덧침콘크리트의 접합면(Table 4의 ②) 위치에서 각각 위험단면을 설정하고, 설계기준의 공칭휨강도 산정식을 사용하여 계산하였다(한국콘크리트

Table 4 Prediction of flexural strengths

Specimen	b (mm)		d (mm)	f _{ck} (MPa)		A _s (mm ²)		f _y (MPa)		A _{sfy} /0.85f _{ck} b (mm)		M _n (kN·m)		P _n =2M _n /a (kN)		Critical section
	①	②		①	②	main rebar	slab rebar	main rebar	slab rebar	①	②	①	②	①	②	
	MRS-A	418		440	340	45.2	32.3	3184	355	502	531	111	148	508	475	
MRS-A0	586	600	245	45.9	35.3	2032	568	456	448	52	66	259	251	259	241	
MRS-A1	293	300	420	48.2	24.9	2009	284	440	540	86	163	391	351	391	337	
MRS-B1	293	300	420	46.9	24.9	2009	284	440	540	89	163	390	351	390	337	

Table 5 Prediction of shear strengths

Specimen	b _w (mm)	d (mm)	f _{ck} (MPa)	ρ _w	Shear reinforcement		V _u /M _u (m)	V _c (kN)		V _s (kN)	V _n (min) (kN)	P _n =2V _n (kN)	Critical section
					Spacing	f _y		by Eq. (1)	by Eq. (2)				
MRS-A0	566	260	45.9	0.016	D10@150	448	0.14	158	162	106	264	528	
MRS-A1	150	620	48.2	0.022	D13@150	519	0.56	119	105	261	380	760	
MRS-B1	150	620	46.9	0.022	D13@150	519	0.56	118	104	261	379	758	

학회 2008, PCA 2008, ACI 2008). 이때 재료의 강도는 각각의 위치에서의 콘크리트 압축강도와 부모멘트 철근 및 슬래브 철근의 항복강도를 고려하였으며, 휨강도의 계산결과는 Table 4에 정리하여 나타내었다. 그 결과, 위험단면 ①에서는 압축부분의 단면적은 작지만 MRS의 콘크리트 압축강도가 크기 때문에 등가응력블럭의 깊이가 작게 산정되고 있다. 반면 위험단면 ②에서는 덧침콘크리트의 압축강도가 상대적으로 작지만, 단부에서 리브의 단면형상이 확장되면서 압축부분의 폭이 커지게 되므로 휨내력이 크게 감소하지 않는 결과를 보여주었다. 한편 휨 파괴 거동을 보여준 MRS-A0, MRS-A1 및 MRS-B1 실험체는 위험단면 ①과 ② 위치에서 산정한 휨강도 보다 큰 값의 최대내력을 보여주었다. 따라서 단부의 리브를 확장한 단면형상과 마구리 날개를 갖는 MRS공법은 기존의 더블티를 사용하여 연속단을 구축하는 경우 보다 지압 성능과 연속단 접합부의 구조성능을 안정적으로 향상시킬 수 있는 구조시스템이라고 판단된다.

한편 MRS 연속단 실험체의 전단강도는 식(1) 및 식(2)를 사용하여 콘크리트의 전단강도(V_c)를 산정하고, 여기에 전단철근에 의한 전단강도(V_s)를 더하여 공칭전단강도(V_n)를 산정하였다(한국콘크리트학회 2008, PCA 2008, ACI 2008).

Table 5는 MRS 연속단 접합부 실험체에 대하여 공칭 전단강도가 가장 작게 산정된 위치에서 전단강도의 산정 결과를 정리하여 보여주고 있다.

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

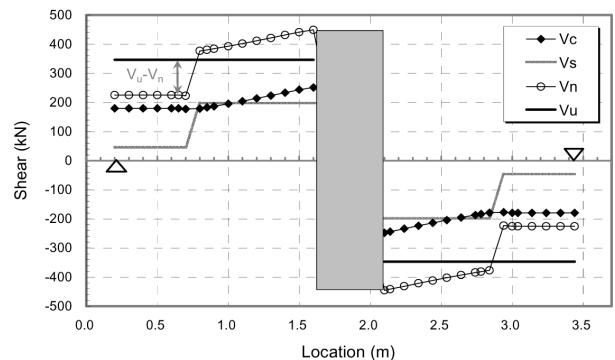


Fig. 6 Comparison of applied shear force with shear strength for MRS-A specimen

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad (2)$$

Fig. 6은 전단파괴를 나타낸 MRS-A 실험체의 전체경간에 대한 공칭전단강도와 실험시 최대전단력을 비교하여 보여주고 있다. 그 결과에 의하면, MRS-A 실험체는 지점에서 부재의 유효춤 만큼 떨어진 부분의 공칭전단강도는 223kN으로서 최대하중시 작용하는 전단력 347kN에 비하여 1/3 정도 작게 나타나고 있다. 이는 실물치수의 3/4로 계획하면서 전단철근으로 선택한 철근(D6)의 단면적이 작아지는 만큼 배근량을 충분히 크게 하지 못하여 전단철근의 전단저항력도 작게 결정되었기 때문이다. 따라서 전단철근에 의한 전단강도를 요구되는 수준으로 크게 한다면 이러한 파괴를 방지할 수 있을 것이다.

한편 실험체의 PC와 덧침 콘크리트 간의 접합면에서 수

Table 6 Comparison of maximum loads with calculated strengths

Specimen	f_{ck} at test day		f_y (MPa)	ρ/ρ_b	Test strength P_{max} (kN)	Calculated strength		Test/Prediction	Interface shear strength		Failure mode
	PC (MPa)	Topping (MPa)				$2M_u/a$ (kN)	$2V_{nh(min)}$ (kN)		F_h (kN)	V_{nh} (kN)	
MRS-A	45.2	32.3	502	0.859	693	794	446	1.55	1787	3943	Shear
MRS-A0	45.9	35.3	456	0.456	265	259	528	1.02	1181	9377	Flexure
MRS-A1	48.2	24.9	440	0.670	513	391	760	1.31	1196	3714	Flexure
MRS-B1	46.9	24.9	440	0.670	480	390	758	1.23	1196	3714	Flexure

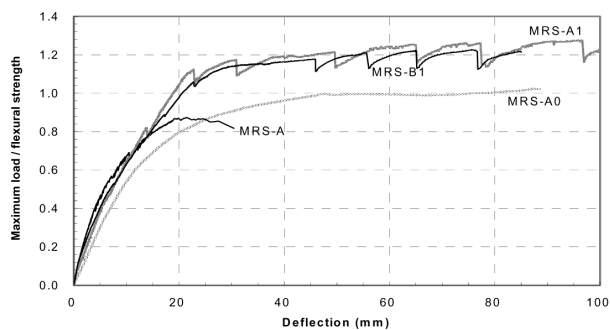


Fig. 7 Load normalized with flexural strength

평전단력에 의한 미끄러짐 파괴를 방지하는 접합면의 수평전단강도(V_{nh})는 식(3)에 의해 산정하였다(PCI 2005, 한국콘크리트학회 2008, PCA 2008, ACI 2008).

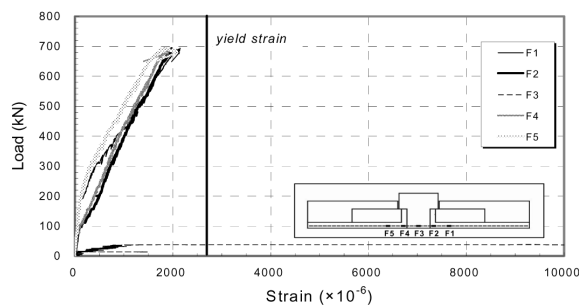
$$V_{nh} = (1.8 + 0.6 \times \rho_v \times f_y) \times \lambda \times b_v \times l_{vh} \quad (3)$$

이러한 수평전단강도(V_{nh})는 실험체가 휨강도에 도달하기 위하여 필요한 인장력($T=A_s f_y$)에 의해 발생하게 되는 수평전단력(F_h)과 비교할 때 모두 큰 값으로 나타나고 있으므로, 접합면의 수평전단력은 파괴에 영향을 미치지 않은 것으로 평가되었다. Table 6에서는 이러한 평가결과를 보여주고 있으며, 휨강도 및 전단강도의 공칭강도와 실험체의 최대강도를 비교하여 파괴특성을 평가하였다. Table 6에 나타난 바와 같이 전단파괴한 MRS-A 실험체를 제외하면 모든 실험체가 휨강도에 의해 최대내력이 지배되고 있으며, 파괴모드도 실제의 거동특성과 동일하게 휨파괴를 예측할 수 있다.

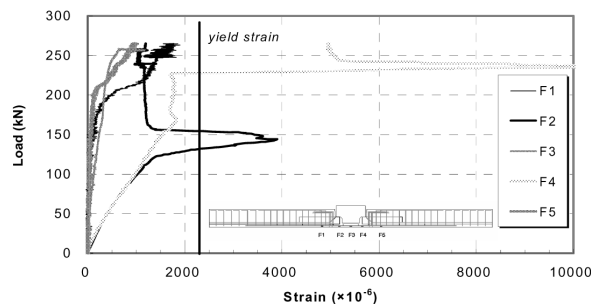
Fig. 7에서는 실험체의 하중을 Table 6에 나타난 공칭 휨강도 계산값으로 무차원화한 결과를 비교하여 보여주고 있다. MRS-A 실험체는 전단파괴를 나타내며, 공칭휨강도에 근접한 하중상태에서 취성적인 거동을 나타내었다. 그러나 MRS-A0, MRS-A1 및 MRS-B1 실험체는 모두 휨강도를 상회하는 하중저항능력과 함께 하중의 저하 없이 경간 길이의 1.8%에 해당하는 85mm의 변위상태까지 연성적인 거동을 보여주고 있다.

4.4 인장철근의 변형률

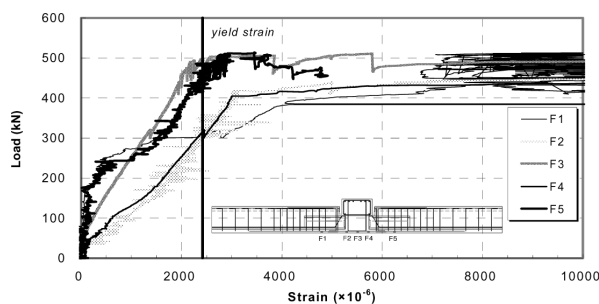
Fig. 8에서는 MRS 연속단 접합부 실험체의 부모멘트



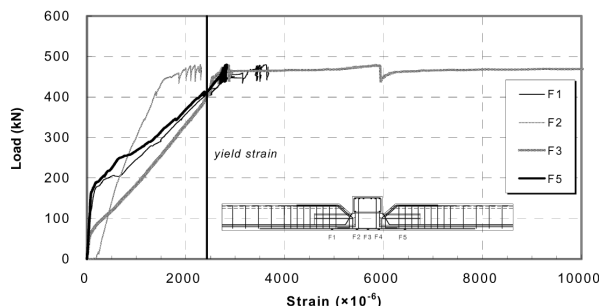
(a) MRS-A specimen



(b) MRS-A0 specimen



(c) MRS-A1 specimen



(d) MRS-B1 specimen

Fig. 8 Load-strain relationship of tensile rebars

철근에 부착한 게이지의 하중-변형률 관계를 보여주고 있다.

전단파괴를 보여준 MRS-A 실험체의 휨철근은 Fig. 8(a)에 나타난 바와 같이 항복변형률 보다 작은 변형률 상태에 있음을 알 수 있다. 연성적인 휨거동을 보여준 MRS-A0, A1 및 B1 실험체의 휨철근은 항복변형률을 상회하는 소성변형을 나타내고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 지하주차장 건물의 바닥구조를 구성하기 위한 방안으로서 MRS공법을 제안하고, MRS공법의 연속단 접합부에 대한 구조실험을 수행함으로써 휨거동 특성과 접합상세의 유효성을 평가하였다. 본 연구에서 도출한 결론은 다음과 같다.

1) PC 부재를 조립과정에서 접합부를 일체로 완성하는 MRS 연속단은 초기하중 단계에서도 충분한 강성 및 연속성을 보여주었다.

2) MRS 접합부는 슬래브에 배치된 철근이 항복하면서 공칭강도 이상의 능력을 보였으며, 항복 이후에도 경간 길이의 1.8% 이상까지 연성적인 거동을 나타내었다.

3) MRS 접합부가 부모멘트를 받을 때 많은 양의 철근이 필요한 경우를 대비하여 리브의 단면형상을 확장한 부분에서 콘크리트의 압괴가 발생하지 않는 양호한 거동을 보였다.

4) MRS 접합부의 수직 및 수평전단 강도를 검토한 결과 일체로 가정한 공칭강도 이상의 성능을 보이며 전단파괴는 발생하지 않았다.

이상과 같은 실험연구의 결과, MRS 시스템으로 구성한 연속단 접합부는 연속단으로 가정한 설계방법을 적용하여 설계할 수 있으며, 연성적인 휨파괴를 유도할 수 있도록 접합부 설계를 수행할 수 있는 것으로 사료된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 김상연, 이법식, 박광열, 이성복, 윤영호, “외국의 PC 주차장 건물 현황과 국내 아파트 지하주차장의 PC공법 적용 방안”, 콘크리트학회 학회지 Vol.20, No.1, 2008, pp. 34-40.
2. 삼성물산(주) 건설부문, 일방향 PC 장선 슬래브의 접합상세 개발 및 구조성능 평가에 관한 연구, 연구보고서, 2007, p.156.
3. 삼성물산(주) 건설부문, MRS 구조시스템의 접합상세 개발 및 구조성능 평가에 관한 연구, 연구보고서, 2008, p.337.
4. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계기준 해설, 2008, p.523.
5. 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, p.354.
6. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute, Michigan, 2008, p.467.
7. Mattock, A. H. and Theryo, T., Strength of Members with Dapped Eeds, PCI, Research Project No.6, 1986, p.218.
8. PCA, Notes on ACI 318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete with Design Application, 2008, p.1026.
9. PCI Industry Handbook Committee, PCI Design Handbook—Precast Prestressed Concrete, 6th Edition, Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL, 2005, pp. 4-8-117.

(접수일자 : 2009년 10월 28일)

(심사완료일자 : 2009년 11월 17일)

요 지

본 연구는 지하주차장 건물의 바닥구조를 구성하기 위한 방안으로서 프리스트레스를 도입한 일방향 장선구조인 MRS공법을 제안하고, MRS공법의 연속단 접합부에 대한 구조실험을 수행함으로써 휨거동 특성과 접합상세의 적정성을 평가하였다. 연속단 접합부는 4개의 실험체를 제작하였으며, 연속단 접합부에 부모멘트가 작용하도록 실험을 수행하였다. 실험크기로 제작한 MRS 연속단 접합부는 접합부의 구조상세와 상관없이 충분한 휨강성의 발현과 함께 연성적인 휨파괴 거동을 보여주었다. 특히 지붕층에 위치한 MRS 연속단 접합부는 큰 값의 부모멘트를 저항하기 위한 인장철근의 양을 최대철근비 이하로 설계할 수 있으며, 최종파괴 모드는 휨에 의해 지배되는 거동특성을 보여주었다. 따라서 제안된 MRS공법은 우수한 지압성능과 연속단 구축이 용이한 접합부 상세를 갖는 것으로 평가되었다.

핵심 용어 : MRS 접합부, 지하주차장, 일방향 장선 슬래브, 연속단 접합부