



반복하중시 철근 마디높이에 따른 부착 손상특성

이재열¹⁾ · 김병국¹⁾ · 홍기섭²⁾ · 최원철^{1)*}

¹⁾승실대학교 건축공학과 ²⁾홍익대학교 건축학과

(2001년 12월 27일 원고접수, 2002년 12월 12일 심사완료)

Effects of Bar Deformation Height on Bond Degradation Subject to Cyclic Loading

Jae-Yuel Lee¹⁾, Byong-Kook Kim¹⁾, Gi-Suop Hong²⁾, and Oan-Chul Choi^{1)*}

¹⁾Dept. of Architectural Engineering, Soong-Sil University, Seoul, 156-743, Korea

²⁾Dept. of Architecture, Hong-Ik University, Seoul, 121-791, Korea

(Received December 27, 2001, Accepted December 12, 2002)

ABSTRACT

One of the reasons for brittle failure in reinforced concrete structures subjected to severe earthquake is due to large local bond-slippage of bars resulting in fast bond degradation between reinforcing bars and concrete. This study aims to evaluate effects of bar deformation height on bond performance, specially, bond degradation under cyclic loading. Bond test specimens were constructed with machined bars with high relative rib areas. The degree of confinement by transverse bars is also another key parameters in this bond test. From test results, amounts of energy dissipation are calculated and compared for each parameter.

Test results show that bond strength and stiffness drops significantly as cycles increases. The confinement and high relative rib area are effective to delay bond degradation, as the reduction of bond strength of cyclic loading compared to monotonic loading decreased for bars with large confinement and high relative rib areas. The energy dissipation also increases as the degree of confinement and relative rib area increases. However, tested bars with very high rib areas show that the bond may be damaged at relatively small slip because of high stiffness. The study will help to understand the bond degradation mechanism due to bar deformation height under cyclic loading and be useful to develop new deformed bars with high relative rib areas.

Keywords : bond degradation, confinement, cyclic load, deformation height, energy dissipation index

1. 서 론

철근콘크리트구조에서 콘크리트와 철근의 두 이질재료 사이의 부착-슬립 현상은 지진 하중시에 연성골조구조물의 이력거동에 미치는 영향이 크다. 보-기둥 골조구조물에서 부착강도가 15% 감소할 때 에너지 소산능력은 30%까지 감소되는 것으로 알려져 있다¹⁾. 그러므로, 철근콘크리트구조에서 이러한 부착손상을 최대한 감소시키기 위한 기법이 구조물의 안전에 매우 중요하다.

철근콘크리트구조에서 부착특성에 미치는 영향은 많으나 두 재료의 계면 특성과 횡구속조건으로 대별된다.

최근, 계면 특성의 하나인 철근마디형태에 따른 부착강도의 영향에 대해 연구가 수행되고 있다. 횡구속량이 작

은 경우에는 마디형태의 영향은 작으나, 횡구속이나 피복 두께가 큰 경우 상대마디면적의 증가에 따라 부착강도가 증가함으로 보고되고 있다²⁾. 반복하중 상태에서는, 횡구속이 크면, 정적하중상태에 비하여 상대마디면적이 증가할수록 부착강도가 더욱 뚜렷하게 증가하며, 반복가력시에 상대마디 면적의 증가에 따라 뿔힘 파괴에 대한 저항력이 더욱 증가하는 것으로 알려지고 있다³⁾.

이러한 철근 마디형태에 대한 개발과정에서 최대내력인 부착강도가 중요하지만 부착-슬립에 의한 변형 능력에 대한 평가도 중요하다. 지진하중이 작용하면 슬립이 증가하게 되고 이에 따른 국부부착손상에 대한 성능 여부가 검증되어야 할 것이다.

본 논문에서는 철근 마디형태에 대한 개발의 연구결과 의 하나로 반복하중시에 부착손상특성을 평가하고자 한다. 철근의 마디높이와 횡구속 철근량을 주요 변수로 반복하

* Corresponding author

Tel : 02-820-0705 Fax : 02-816-3354

E-mail : occhoi@saint.soongsil.ac.kr

력 부착실험을 수행하고 에너지 소산 능력을 평가한다. 본 연구의 결과로써 반복하중시의 부착특성에 대한 기본 지식을 제공하고 철근 개발시에 활용하고자 한다.

2. 반복하중시 국부부착손상과 손상평가지수

2.1 반복하중시 국부부착손상

모멘트-저항 골조의 접합부에서 부착이 충분히 발휘되지 않을 때에는 반복하중시에 심각한 강성저하를 유발할 수 있다. 따라서 충분한 부착력을 확보하여야 하며 철근과 콘크리트 사이의 국부부착손상을 최소화해야 한다. 부착력은 이형철근과 콘크리트 사이의 상호작용으로 주로 철근마디와 콘크리트사이의 기계적 작용에 의하여 발생되나 국부부착은 반복하중으로부터 두 재료 사이에 계속하여 손상된다.

정적하중시에는 국부부착파괴가 거의 발생되지 않고 단조곡선을 따른다. 그러나, 반복하중시에 슬립이 증가함에 따라 국부부착손상이 누적되고 반복횟수가 증가함에 따라 부착저항력은 계속하여 감소한다⁴⁾.

반복하중작용에 따라 부착강도와 부착강성의 감소는 이전의 슬립이력의 최대크기와 반복횟수에 따른다. 반복하중에서 슬립이력의 차이 또한 큰 영향요소로, 반사이클(half cycle) 보다 전사이클(full cycle)로부터 손상이 더 크다. 국부부착응력-슬립 관계에 대한 양방향(정·부)하중에 대한 기존의 연구는 다음과 같이 요약될 수 있다¹⁾.

- (a) 한 방향으로 가력 후, 반대방향 가력에 의한 부착응력-슬립 관계는 거의 그 방향의 단조하중시의 곡선과 일치한다.
- (b) 일단 최대 슬립에 도달하면, 계속된 하중이력에서 작은 슬립치에서도 조차 상당한 부착저항 감소가 발생한다.
- (c) 일정한 슬립내에서 반복가력은 최대 부착력을 감소시킨다.
- (d) 단조가력시 최대하중에 상응하는 슬립 S_{max} 이상의 큰 슬립에서 반복가력은 부착저항을 크게 감소시키고, 부착력-슬립거동에 중요한 영향을 미친다.

이와 같이 반복가력에서 부착-슬립특성은 철근의 마디면적과 관련된 계면의 특성, 미세균열 또는 손상, 그리고 횡구속 정도에 따른 부착파괴유형에 관계되어 단조가력시의 부착-슬립특성과는 큰 차이를 나타내고 있으며 이에 따른 특성에 대한 평가가 필요하다.

2.2 반복하중으로부터 손상 평가지수

2.2.1 에너지 소산력

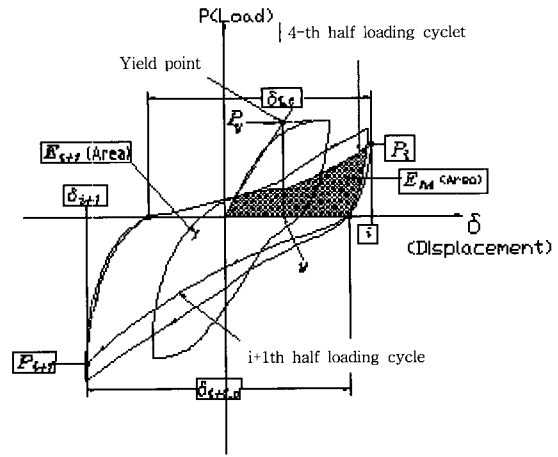


Fig. 1 Definition of energy dissipation

구조물이 지진력을 받을 때 충분한 변형 능력이 있다면 그 구조물의 붕괴는 피할 수 있을 것이다. 이런 이유로 지진력에 대해서 강도와 변형은 적절히 고려되어야 하며, 에너지 소산력을 평가하는 것은 구조물의 변형능력을 나타내는 가장 대표적인 방법이다. 각 사이클의 에너지 소산력은 Fig. 1의 위 곡선에 의해 둘러싸여진 면적으로 계산된다. 즉 하중이 0이 될 때 사이클의 시작점과 끝점의 반사이클의 하중이력 곡선의 면적으로 정의된다.

2.2.2 손상지수

반복하중을 받는 구조물에서 손상정도를 평가하는데 여러가지 손상지수가 사용되고 있다. 손상정도를 나타내는 대표적 지수인 에너지 소산비(energy dissipation ratio) β_i 는 매사이클시 에너지 소산력을 항복점의 에너지 소산력으로 나누어 구하며, 식(1)과 같다.

$$\beta_i = \frac{E_{Hi}}{P_y \cdot \delta_y} \quad (1)$$

여기서 E_{Hi} : i 번 사이클에서 에너지 소산력

P_y : 항복하중

δ_y : 항복 변위

손상의 정도를 평가하기 위해서 전혀 손상되지 않은 상태와 완전 손상된 상태로 구분하는 손상지수 기법이 사용된다. 이러한 평가기법의 하나인 에너지 소산지수(energy dissipation index) D_{ce} 는 매 사이클시 에너지 소산비의 누적한 값을 파괴시 에너지 소산비로 나누며 식(2)와 같이 구한다⁵⁾.

$$D_{ce} = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i}{D_{ceo}} \quad (2)$$

여기서, n : 반복횟수

D_{ceo} : 파괴시의 $\sum_{i=1}^n \beta_i$ 의 값

부재가 탄성적으로 거동할 때, D_{ce} 는 0이 되며 완전 파괴시 1이 된다.

부착성능으로서 부착강도가 증가함에 따라 정착길이가 짧아지는 잇점이 있겠지만 반복가력시의 국부부착-슬립에 의한 손상특성을 동시에 평가함이 중요하다. 이상의 에너지 소산력과 에너지 소산지수를 실험결과에 도입하여 반복하중시의 부착손상 특성을 규명하고자 한다.

3. 부착실험

3.1 실험계획과 실험체

반복하중시의 콘크리트와 철근의 부착특성을 평가하기 위해 보-기둥 접합부를 모델화한 부착시험체를 사용하였다. 철근 마디 형태 외에 횡구속 철근량을 주요 변수로 하였다.

본 연구에서는 마디형태를 높이 별로 3가지를 두어 상대 마디면적의 변화를 주었으며, 두 종류의 횡구속철근을 사용하였으며 다음과 같은 두 가지 변수량에 대한 영향을 조사하였다.

- 1) 횡구속 철근량 ; NONE, D13, D16
- 2) 마디높이 ; Low(L), Medium(M), High(H)

상대마디면적은 지압면적(철근축에 직교한 마디면적)과 전단면적(철근주장×마디간 중심거리)의 비에 의해 다음식으로 구해질 수 있다.

$$\alpha_{SR} = \frac{F_R}{\pi \cdot d_b \cdot c} \quad (3)$$

F_R = 마디 지압면적

c = 마디간 중심거리

시험체는 실제 보-기둥접합부에서 부착파괴되는 현상을 재현하고자 하였으며 부착시험되는 철근은 D25로 콘크리트의 피복두께는 $3d_b$ (75mm)로 계획하였고 시험체 크기는 $300 \times 200 \times 300$ mm로 제작하였다.

Table 1 Concrete mix proportions

Nominal strength (MPa)	Air (%)	W/C (%)	S/A (%)	Unit weight(kg/m ³)			
				Water	Cement	Sand	Gravel
34	5.4	41.8	45.0	195.8	408	780	960

Table 2 Geometry of test bar deformations

Test bar	Bar diameter (mm)	Rib height (mm)	Rib space (mm)	Bearing area (mm ²)	Shearing area (mm ²)	Relative rib area
L	25.0	1.35	17.12	100.30	1344.6	0.075
M	25.0	2.03	17.12	146.49	1344.6	0.109
H	25.0	2.70	17.12	189.15	1344.6	0.141

L, M, H : Low, Medium, High

Bearing area : Projected rib area

Shearing area: Rib spacing×nominal perimeter

철근의 묻힘길이는 $5d_b$ (125 mm)로 하고, 콘크리트의 콘(cone)파괴 방지를 위해 양단에 P.V.C. 파이프를 삽입하였다. 접합부내 기둥철근으로 4-D13을 사용하였고 부착길이 내에 추가로 1개의 D13, 또는 2개의 D16의 횡방향 철근을 배치하여 횡구속 철근량의 차이를 나타내었다. 띠철근은 D13 철근으로 80 mm 간격으로 4개를 배치하였다 (Fig. 2).

강도설계법에 의해 실험실에서 배합 타설하였으며 최대 골재크기는 13 mm, 배합후 슬럼프는 12 cm 이었다. 재령 28일에 부착 실험을 수행하였으며 콘크리트의 평균압축강도는 37.2 MPa이었다. 시험철근으로 D25에 해당하는 냉간철근봉을 가공하였으며 항복강도는 540 MPa이었고 항복시 변형율은 0.0043 이었다.

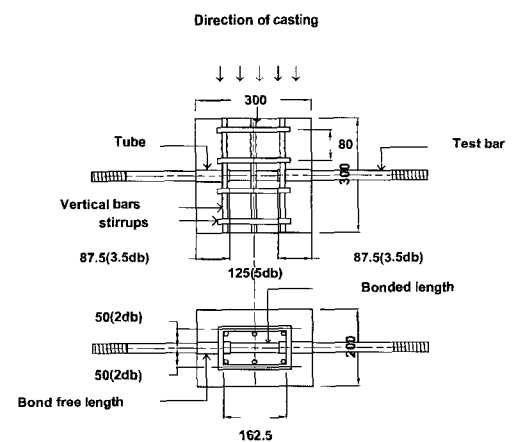


Fig. 2 Test specimen (unit : mm)

3.2 하중제하와 실험결과

시험체를 양방향으로 가력이 가능한 특별히 고안된 고정 프레임에 올려 놓고 해드를 시험체 가력봉에 고정시킨 후 변위제어방식에 의해 반복 가력하였다(Fig. 3 참조). 상대슬립 측정을 위해서 LVDT를 재하단 쪽에 2개를 설치하였다. 단방향(monotonic)일 경우는 시험체를 윗방향으로 일정한 속도에 따라 하중을 가했으며, 반복(cyclic)인 경우에는 1사이클이 윗방향 한번, 아랫방향 한번으로 진행하였다. 변위제어로서 변위속도는 분당 0.05 mm가 되도록 하였고 윗·아래 방향으로 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.75, 2.5, 4.0 mm 까지 증분제하하여 7사이클까지 가력하였다⁶⁾.

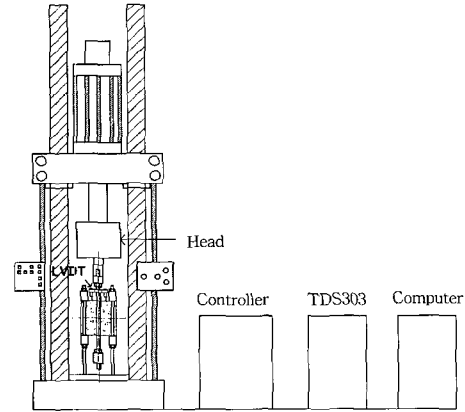


Fig. 3 Test set up

3.3 부착-슬립곡선

Fig. 4는 단조가력시와 반복가력시의 대표적인 하중-슬립곡선을 나타내었으며 초기부착강성은 단조가력과 반복가력시 대체로 비슷하다. 단조가력시 부착-슬립 곡선은 최대하중 도달후 하중이 크게 감소하는 기존의 결과와 일치하는 양상을 보였다. 반복가력시에는 사이클이 거듭할수록 부착하중이 감소하여 최대하중 도달이후에 슬립량이 급격히 증가되고 있다. 이는 슬립 이력과정에서 국부부착손상이 발생되고 또한 누적되는 현상으로 볼 수 있다. 또한 단조가력에 비해 반복가력시에 최대하중이 상당히 떨어지는 것으로 대비되며 이는 사이클 증가에 따라 국부부착손상이 발생된 것으로 볼 수 있다.

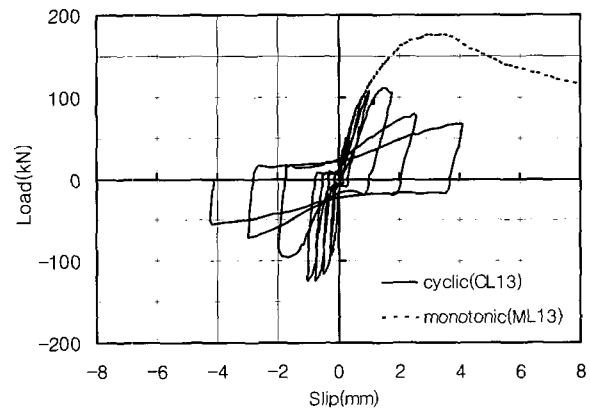


Fig.4 Bond-slip curves for monotonic and cyclic loadings

4. 부착손상특성 분석

4.1 단조가력 대비 반복가력시 부착강도

반복가력시 내부 부착균열이 증가되어 부착강도에 도달 이후 사이클이 증가함에 따라 부착력은 감소한다. 단조가력시와 반복가력시의 슬립변위별 부착력을 Table 3 에 나타내었다. 단조가력에 대비되어 반복가력시 부착강도 및 그때의 슬립은 횡구속량과 마디높이에 따라 다르게 나타나고 있다.

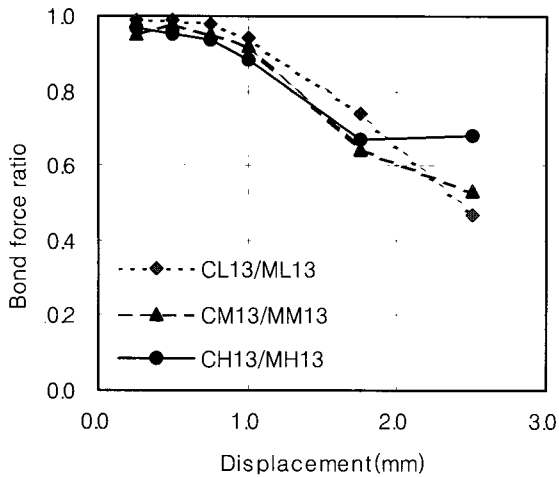
Table 3에서 보듯이 슬립 1.0mm 까지 부착력은 단조가력, 반복가력의 경우 모두 횡구속이 클수록 또한 마디높이가 높을수록 대부분 증가한다. 슬립 1.0mm 이후, 단조, 반복가력 경우 모두, 횡구속이 클수록 또한 마디높이가 높을수록 상대적으로 더 작은 슬립에서 부착강도에 도달한다. 즉, 횡구속이 클수록, 마디높이가 높을수록 부착초기강성이 커져 작은 변위에서 부착강도에 도달하고 이후 부착손상은 빠르게 일어난다.

또한 Table 3 에서는 단조하중에 대한 반복하중시의 부착강도 비를 나타내었으며 0.62에서 0.85 범위를 보이고

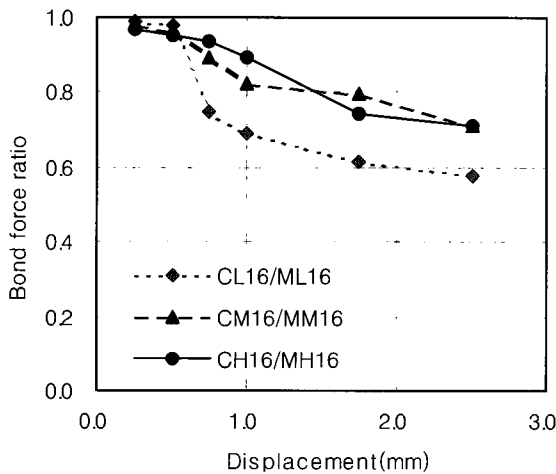
Table 3 Bond forces of monotonic versus cyclic loadings (unit: kN)

Disp (mm)	Low rib height				Medium rib height				High rib height			
	ML 13	CL 13	ML 16	CL 16	MM 13	CM 13	MM 16	CM 16	MH 13	CH 13	MH 16	CH 16
0.25	37.4	39.4	51.7	50.2	44.4	41.0	61.5	58.9	49.2	47.6	96.7	90.6
0.50	76.2	76.9	78.6	78.1	76.0	74.9	97.4	96.4	81.5	81.7	141	139
0.75	96.2	94.8	145	100	112	106	137	122	113	106	167	157
1.00	113	106	162	110	133	122	150	123	146	129	187	167
1.75	150	110	184	144	178	115	147	117	191	128	194	144
2.50	170	79.8	181	104	178	95.2	134	95.6	173	118	185	131
4.00	176	67.9	138	92.1	149	92.6	124	90.4	167	117	182	124
Ratio*	0.62		0.70		0.67		0.82		0.70		0.85	

*:Bond strength (average value of bold letters) ratio of cyclic to monotonic loads



(a) Confining bars : D13



(b) Confining bars : D16

Fig. 5 Bond force ratio of cyclic to monotonic load

있다. 횡구속이 클수록 또한 마디높이가 높을수록 부착강도비가 커짐으로 나타나 단조하중대비 반복하중시의 부착강도 차이가 줄어들고 있음을 보여주고 있다.

각 사이클에서의 최대부착력을 해당되는 변위에서의 단조가력시 부착력으로 나눈 비를 Fig. 5에 나타내어 반복가력시에 변수별 부착력 감소현상을 보고자 하였다. 횡구속이 클수록 반복가력으로 인한 부착력감소가 작은 변위에서 일어나고 있다. 이러한 감소 현상은 마디높이가 낮을 수록 크며(시험체 CL13 대비 CL16) 상대마디면적이 클수록 작아져서 강도차가 줄어들고 있다. 이로부터 상대마디면적을 증가시킴에 따라 반복가력으로 인한 부착강도 감소를 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

특히 횡구속이 크고 마디높이가 낮을때는 반복가력으로 조기에 국부부착손상이 발생된다. 이는 슬립량이 마디폭

(본 실험에서는 1.35 mm)에 근접함에 따라 뽀뽀파괴로 연결되어 부착강도 손상이 빠르게 발생된다. 그러나 상대적으로 마디높이가 높을 경우에는 비록 횡구속이 크더라도 지압내력이 커져서 국부부착손상이 늦어지는 것으로 추정된다(시험체 CH13와 CH16).

4.2 에너지 소산력

앞의 2.2.1에서 정의한 각 시험체별로 에너지 소산력은 Table 4와 같다.

Fig. 6은 시험체별 슬립 증가에 따른 에너지 소산력을 나타내고 있다. 횡구속량이 증가할수록 즉, D13에 비해 D16의 횡방향 철근이 사용되었을 때 에너지 소산력은 뚜렷하게 커지고 이는 실험에서 횡구속이 증가함에 따라 더 많은 미세균열이 시험체에 발생함이 관찰되었음과 일치된다. 상대마디면적 증가에 따라 에너지 소산력도 대체로 증가하고 있다. 1.0 mm 변위 이후 마디높이 Low, Medium, High로 갈수록 소산력이 커지고 있다. 이는 상대마디면적이 증가함에 따라 부착강도와 강성이 증가하였고 따라서 총에너지를 많이 소산시키고 있음으로 판단된다.

Table 4 Energy dissipation (unit : kN · mm)

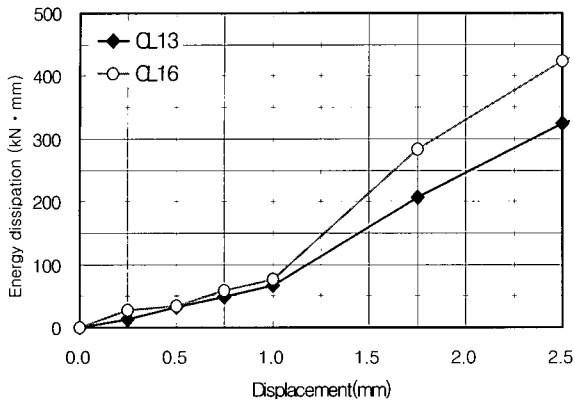
Specimen \ Disp. (mm)	0.25	0.50	0.75	1.00	1.75	2.50	4.00
CL13	13.70	32.18	49.45	66.84	207.28	323.76	466.38
CL16	27.64	34.55	58.66	77.11	282.94	422.69	634.70
CM13	13.12	27.18	37.29	67.52	228.06	289.71	637.20
CM16	12.82	70.00	67.22	120.94	280.09	347.76	628.59
CH13	28.53	52.29	50.36	61.09	276.10	334.50	585.94
CH16	21.92	37.40	127.44	242.42	322.96	449.85	686.23

4.3 에너지 소산지수

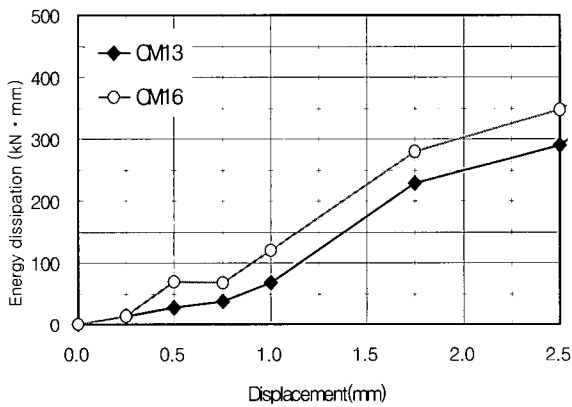
본 실험의 각각 시험체에 대해 에너지 소산지수를 식 (2)에 의하여 계산하였으며 그 결과를 Table 5와 Fig. 7에 나타내었다. 변수별로 보면 횡구속이 증가할수록, 시험체의 손상은 적어지고 있다. 즉 횡구속이 클수록 더 큰 슬립에서 파괴가 이루어져서 부착손상은 적어지고 있다.

상대마디면적의 변화로부터 부착 손상은 다소 특이성을 보여준다. 시험체에서 마디높이가 L과 M인 경우에는 슬립 변위에 따른 에너지 소산지수가 비슷하다. 횡구속이 D13과 D16인 경우에 마디높이 L, M에 무관하게 대체로 슬립 1.75 mm와 2.5 mm에서 에너지 소산지수 1.0에 도달하고 있다. 그러나 마디높이가 H인 경우에는 빠르게, 즉 슬립

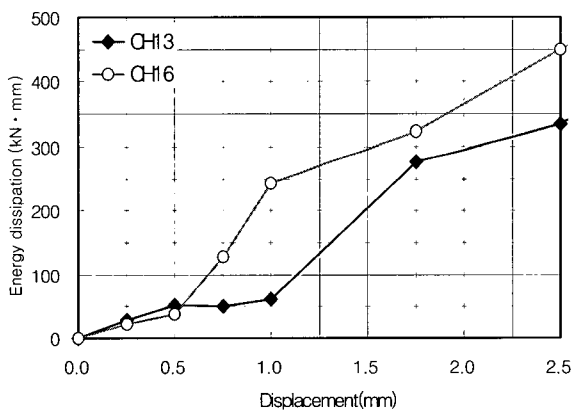
1.0 mm에서 에너지 소산지수 1.0에 도달하고 있다. 이는 마디높이가 커질수록 부착강도는 증가하는 반면에, 마디높이가 너무 높은 경우에는 부착손상을 빠르게 받고 있음을 보여 준다. 다만, 마디의 일정 높이범위 내에서는 부착손상이 비슷함을 보여주고 있다.



(a) Rib height : Low



(b) Rib height : Medium

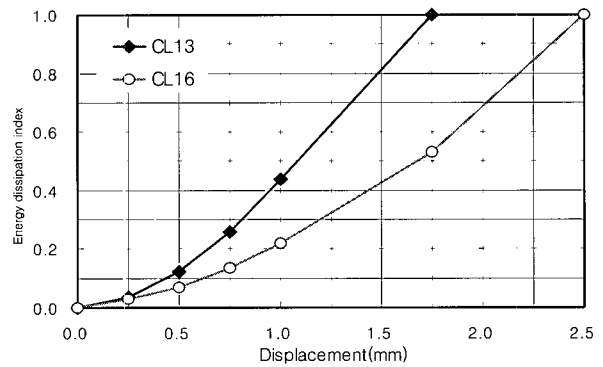


(c) Rib height : High

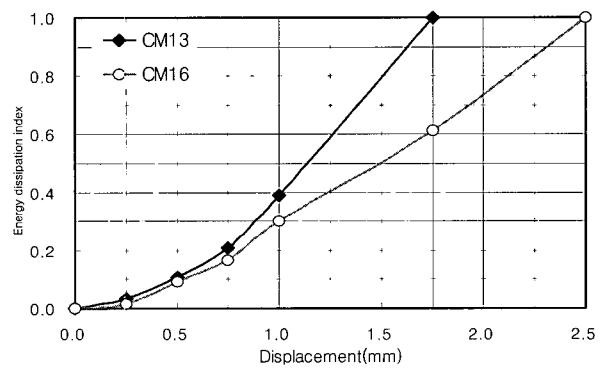
Fig. 6 Energy dissipation

Table 5 Energy dissipation index

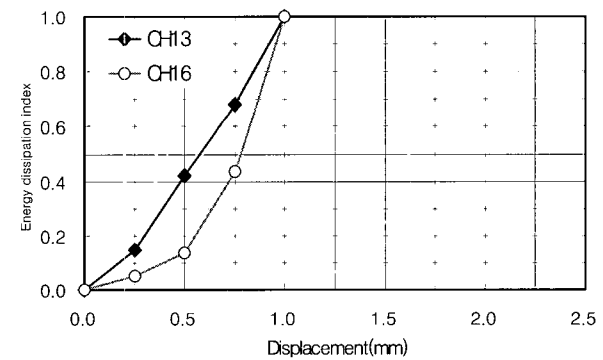
Specimen Disp. (mm)	CL13	CL16	CM13	CM16	CH13	CH16
0.25	0.037	0.031	0.035	0.014	0.148	0.051
0.50	0.124	0.069	0.108	0.092	0.420	0.138
0.75	0.258	0.134	0.208	0.167	0.682	0.436
1.00	0.439	0.219	0.389	0.302	1.000	1.000
1.75	1.000	0.532	1.000	0.613	-	-
2.50	-	1.000	-	1.000	-	-



(a) Rib height : Low



(b) Rib height : Medium



(c) Rib height : High

Fig. 7 Energy dissipation index

5. 결과 고찰

부착성은 콘크리트와 철근계면의 재료특성과 철근을 둘러싸고 있는 피복콘크리트와 횡구속철근에 의한 구조특성에 의해 결정된다. 이러한 중요한 영향 요인은 단조하중시에 뿐만 아니라 국부 손상이 누적되는 반복하중에서도 뚜렷하게 특성차이를 보이고 있다.

1.0 mm 슬립까지는 단조, 반복가력 모두 마디높이가 높을수록, 횡구속량이 많을수록 부착력이 증가한다. 그러나 1.0 mm 슬립이후에는 슬립량이 마디폭에 근접함에 따라 뿔뿔파괴에 영향을 받아 특성이 달라진다. 즉 큰 슬립에서는 횡구속이 클수록 마디높이가 너무 낮으면 뿔뿔파괴 형태로 되어 단조가력에 비해 부착강도가 조기에 저하된다. 그러나 마디높이가 높아지면 마디와 콘크리트의 지압에 의해 파괴될 때까지 부착강도가 저하되지 않고 상대적으로 서서히 감소한다. 마디높이에 상관없이 횡구속이 클수록 소산에너지는 증가되고 또한 소산지수 1.0에 서서히 도달되어 부착 손상이 늦어진다.

한편, 횡구속량이 적을 때, 마디높이의 영향은 작다. 즉, 반복가력시 부착강도의 감소나 에너지 소산력, 소산지수도 큰 차이가 없다. 그러나, 횡구속이 클 때는 마디높이가 클수록 단조가력 대비 반복가력시 부착강도 감소가 작다. 이는 횡구속이 크더라도 마디높이가 클 때는 지압파괴에 이르기 까지 부착강도가 크게 감소하지 않는다고 볼 수 있다. 이에 따라 마디높이가 증가함에 따라 에너지 소산력도 증가한다. 다만, 지압파괴되어 부착강도에 도달된후 손상이 빠르게 일어나고 따라서 소산지수 1.0에 빠르게 도달된다고 볼 수 있다.

Fig. 8에서는 반복하중시에 횡구속 철근과 마디면적 증가에 따른 에너지 소산력과 손상지수의 변화를 개념적으로 나타내어 보았다. 횡구속 철근량이 증가됨에 따라 반복가력시에 부착강도의 감소가 지연되어 에너지 소산지수에 늦게 도달되고 결과적으로 에너지 소산량이 증가된다.

마디높이가 높아짐에 따라 반복하중시에 부착강성이 증가되고 부착강도가 증가된다. 이는 상대마디면적의 증가에 따라 부착강성이 증가되고 슬립량이 감소하는 연구결과와 일치되고 있다.⁷⁾ 부착강도가 증가됨에 따라 총에너지 소산량도 증가되고 있다. 그러나 마디높이가 높아지면 부착강도에 도달하는 슬립은 오히려 작아지고 그 결과 손상에 빠르게 도달한다. 마디높이가 높아짐에 따라 단조가력에 대비된 반복가력시 부착강도 감소도 작아지는 효과를 보이고 있다. 부착강도를 증가시키는 동시에 국부부착이 크게 손상되지 않는 범위의 상대마디면적을 갖는 철근이 개발되고^{8,10)} 사용되어야 할 것이다.

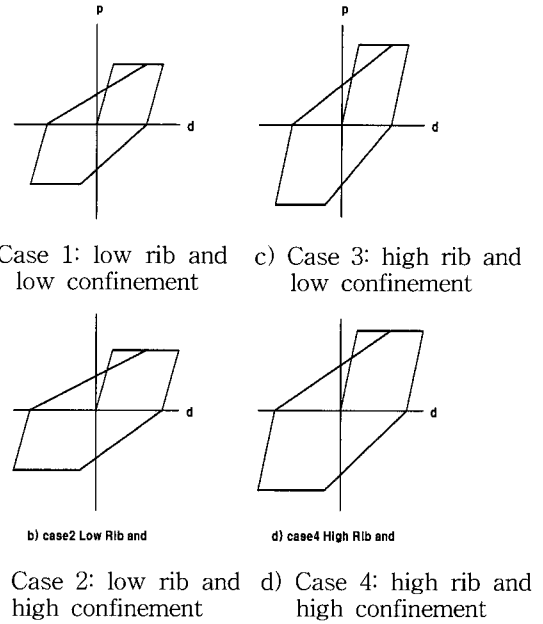


Fig. 8 Conceptual energy dissipation at different levels of rib height and confinement

6. 결 론

반복하중시 철근콘크리트의 부착손상 특성에 대한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다;

- 1) 반복하중에서 국부부착손상으로 인하여 부착강성과 부착력이 급격히 떨어지는 것으로 분석되었다.
- 2) 상대마디면적이 증가할수록 또한 횡구속 철근량이 증가할수록 단조가력에 대한 반복가력시의 부착강도 감소가 적게 발생하였다
- 3) 횡구속 철근량의 증가는 에너지 소산력을 증가시키고 에너지 소산지수에 늦게 도달하는데에 더욱 효과적임을 보이고 있다. 그러나 횡구속이 크고 마디높이가 너무 낮을 경우 부착강도가 조기에 저하된다.
- 4) 마디높이가 높을수록 에너지 소산력이 증가하였고 에너지 소산지수는 일정한 마디높이에서는 비슷하다. 상대적으로 마디높이가 매우 큰 경우 작은 슬립에도 에너지 소산지수에 도달하여 부착손상이 빠르게 일어난다.
- 5) 상대마디면적이 큰 철근을 사용함으로써 우수한 부착 성능이 발휘되어 철근콘크리트 구조물의 내진성능을 향상시킬 것으로 기대한다.

참고 문헌

1. Rolf Elgehausen, Egor P. Popov, Vitelmo V. Bertero., "Local Bond Stress-Slip Relations of Deformed Bars Under Generalized Excitations," Report No. UCB/EERC-83/23 Earthquake Engineering Research Center.
2. David Darwin and E., Graham, "Effect of Deformation Height and Spacing on Bond Strength of Reinforcing Bars," *ACI Structural Journal*, Vol.90, No.6 Nov-Dec, 1993, pp.646~657.
3. 최완철, 이재열, 이용세, "반복하중시 철근마디형태에 따른 부착특성," 한국콘크리트학회 논문집, 제3권 7호, 2001, pp.244~250.
4. Tassios, T. P., "Properties of bond Between Concrete and Steel Under Load Cycles Idealizing Seismic Actions," Committee Euro-International Du Beton, Bulletin No. 131, paris, April, 1979.
5. Darwin, D. and Nmai, C.K., "Energy Dissipation in RC Beams under Cyclic Load," *J. Struc. Engrg.*, ASCE, Vol.112, No.8, 1986, pp.1826~1846.
6. J. Y. Lee., "Bond Behavior of Deformed Bars Subjected to Cyclic Loading," Master Thesis, Soong Sil University, June., 2000, page 69.
7. J. Zuo and D Darwin., "Bond Slip of High Relative Rib Area Bars under Cyclic Loading," *ACI Structural Journal*, Vol.97, No.2, March-April, 2000, pp.331~334.
8. Michael L. Tholen and David Darwin., "Effects of Deformation Properties on the Bond of Reinforcing Bars," University of Kansas for Research, Lawrence, Kansas, 1996.
9. Oan C. Choi, David Darwin, and Steven L. McCabe., "Interface Characteristics for Bond of Reinforcing Steel to Concrete," *The Fourth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction*, Seoul, Korea, Sep., 1993, pp.751~756.
10. ACI Committee 408, "Splice and Development Length of High Relative Rib Area Reinforcing Bars in Tension," *ACI International*, 2001, page 6.

요 약

지진하중을 받는 철근콘크리트구조의 취성과파괴의 원인은 철근과 콘크리트사이의 급속한 부착손상에 의해 발생하는 국부 부착-슬립이다. 본 연구는 반복하중하에서 부착손상에 대한 철근의 마디높이의 효과를 평가하는 것이다. 큰 상대마디면적을 가진 가공된 철근을 사용하여 부착 시험체를 제작하였다. 또 다른 변수로서 연직방향 철근에 의해 횡구속 철근량의 정도가 고려되었다. 실험결과로부터 에너지 소산력의 크기가 산정되고 여러 변수들에 대해서 비교되었다.

실험결과로서, 하중의 반복이 증가함에 따라 부착강도와 부착강성은 현저히 감소함을 알 수 있다. 횡구속량이 크고 상대마디면적이 큰 철근에서 단조하중시에 비해서 반복하중시의 부착강도의 감소가 줄어들고 국부부착저하를 지연시키는데 효과가 있음을 알 수 있다. 에너지 소산량 또한 횡구속량과 마디상대면적이 증가함에 따라 증가한다. 그러나, 마디가 매우 높은 철근의 부착실험에서 높은 강성 때문에 부착이 적은 슬립에서 손상을 입는다는 것을 알 수 있다. 본 연구는 반복하중하에서 부착저하 기구를 이해하고 높은 상대마디면적을 가진 새로운 이형철근의 개발에 유용할 것이다.

핵심용어 : 부착손상, 횡구속 철근, 철근 마디높이, 반복하중, 에너지 소산지수