

유공강판 전단연결재의 인발저항성능 평가

Pull-out Resistance Capacity Evaluation of Perfobond Rib Shear Connector

김영호* · 구현본**

Kim, Young-Ho · Koo, Hyun-Bon

Abstract

As a new system of steel pipe pile cap reinforcement, the application of perforated flat bar bolted to the steel pipe pile head was suggested for the improvement of structural performance of footing structure. This study investigates the structural characteristics of perforated flat bar shear connectors according to shape and diameter of hole, number of rebars passing through the hole and the depth of settlement. The result shows several requirements to ensure sufficient pull-out resistance and ductility such as that the hole diameter excluding diameter of rebar should exceed the size of aggregates; the hole should be perforated with diameter as the half of plate height; and the adequate depth of settlement should be ensured for the optimal performance.

Keywords : steel pipe pile, perfobond rib shear connector, pull-out test, pull-out resistance

요 지

본 연구에서는 유공강판 전단연결재를 강관말뚝머리 연결부의 결합용 구조 요소로 활용하기 위한 연구의 일환으로 유공강판 전단연결재의 홀 형상, 홀 직경, 홀 관통철근, 매입깊이 등에 따른 구조적 성능 및 거동 특성을 실험적으로 규명하였으며, 그 결과 유공강판 전단연결재가 충분한 인발저항성능을 확보하기 위해서는 콘크리트 다웰 효과가 충분히 발휘될 수 있도록 확보 가능한 만큼의 다수의 홀을 가공·배치하되, 각 홀의 직경은 전단연결재 높이의 절반 정도임과 동시에 관통철근 배근 후에도 콘크리트의 완전한 충전이 가능할 만큼의 홀 내 여유 공간을 충분히 확보하는 것이 바람직하며, 아울러 유공강판 전단연결재가 강관말뚝머리 연결부의 결합용 구조 요소로서의 제기능을 발휘할 수 있도록 충분한 정착성능을 확보할 필요가 있다.

핵심용어 : 강관말뚝, 유공강판 전단연결재, 인발실험, 인발저항성능

1. 서 론

합성구조는 구조적 성능의 증진을 목적으로 부재 단면내에 발생하는 응력에 유리한 이종재료를 결합시킨 구조로서, 이러한 구조 형식에서 전단연결재는 이종재료간의 일체거동 및 응력전달 등의 합성 성능과 구조 시스템의 성능 및 거동 특성을 지배하는 핵심적인 역할을 담당한다. 따라서 전단연결재는 적용대상 합성구조물의 단면 형상 및 구조 특성을 고려하여 충분한 구조 안전성을 확보함과 동시에 효율적이고 경제적인 시공이 가능하도록 결정되어야 한다.

유공강판 전단연결재(Perfobond Rib Shear Connector)는 강합성 거더교에 적용하는 스티드의 피로 문제를 해결하기 위해 Zellner(1987)에 의해 제안된 강제 스트립형 구조 요소(Perforated Flat Bar)로서, 삽입강판에 가공·배치된 홀에서의 다웰 작용(Dowel Action)으로 작용하중에 의한 수평전단력 및 수직분리력에 저항하는 결합용 구조 요소(합성연결재)이다.

이러한 유공강판 전단연결재는 기존의 스티드에 비해 전단강도, 피로특성 및 시공성 등이 우수한 것으로 밝혀진 후 이에 대한 관심과 적용사례가 증가되어 왔다(Sara 등, 2002). 이와 관련된 기존 연구 현황을 살펴보면 Veldanda(1992) 등이 직접전단실험(Push-Out Test)을 통해 유공강판 전단연결재와 스티드 전단연결재의 성능을 비교한 것을 비롯하여, Oguejiofor 등이 합성보 실험을 통해 유공강판 전단연결재의 안전성에 대한 평가와 더불어 전단강도 평가식을 제안하였으며(Oguejiofor 등, 1992, 1994, 1997), 이 후 Sara(2002) 등은 강재와 콘크리트 접촉면에서의 부착강도를 고려하여 Oguejiofor가 제안한 전단강도 평가식에 대한 수정식을 제시한 바 있다. 최근에는 Machaeck(2002), Valente(2004) 등에 의해 경량콘크리트를 사용한 유공강판 전단연결재의 전단강도 및 거동에 대한 연구가 수행된바 있으며, 현재도 상세 및 하중에 따른 구조적 특성 규명과 다양한 구조 시스템에 적용하기 위한 관련 연구가 지속적으로 수행되고 있는 실정이다.

*정회원 · (주)지승건설엔지니어링기술연구소 상무이사 · 공학박사 (E-mail : steelkyh@dreamwiz.com)

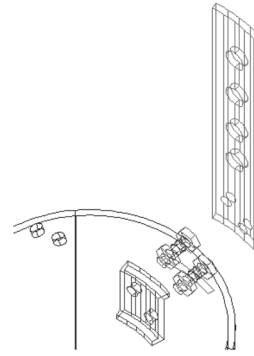
**정회원 · 교신저자 · 한국건설기술연구원 구조시스템연구실 연구원 (E-mail : mygoomy@kict.re.kr)



(a) 폐합형 Perfobond 적용

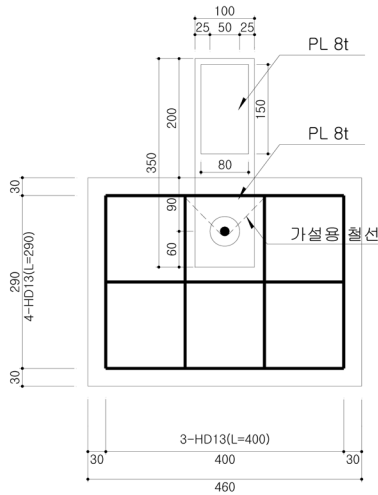


(b) 개방형 Perfobond 적용

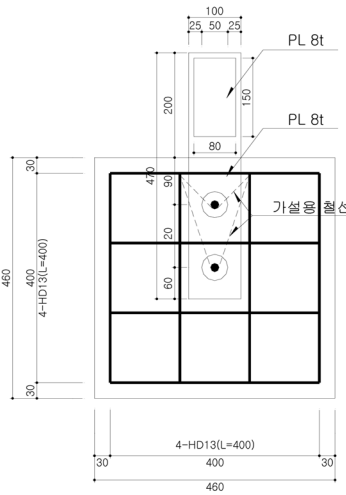


(c) 강관말뚝과 Perfobond의 연결

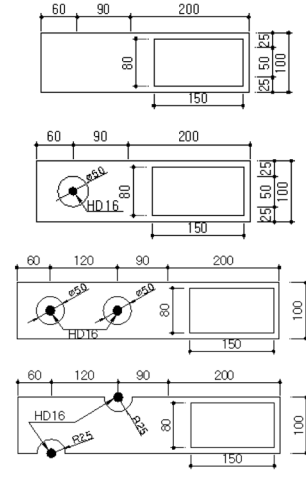
그림 1. 유공강판 전단연결재를 활용한 강관말뚝머리 보강방법



(a) 유공강판 매입깊이 150mm인 경우



(b) 유공강판 매입깊이 270mm인 경우



(c) 유공강판 전단연결재 종류

그림 2. 인발 시험체의 제원 및 형상

한편 국내에서는 CFT 거더에 적용하기 위해 기존 유공강판 전단연결재의 머리부분을 보완하여 전단강도를 향상시킨 Γ 형 유공강판 전단연결재를 제안하고 이에 대한 전단강도 및 파괴모드를 평가한 바 있다(정철현 등, 2004, 2005). 또한 유공강판 전단연결재를 적용한 강-콘크리트 합성 바닥판의 개발을 위해 홀 간격, 홀 위치, 홀 관통철근 유무 등에 따른 유공강판 전단연결재의 성능 및 거동 특성, 반복하중의 크기 및 홀 관통철근 유무에 따른 전단강도 변화를 평가한 바 있다(구현본 등, 2005; 김형렬 등, 2006; 안진희 등, 2007).

본 연구에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 시방서 방법에서의 수직보강철근 대신 유공강판 전단연결재를 활용한 새로운 강관말뚝머리 보강방법을 고안하였으며, 해당 공법의 완성도와 합리적인 설계를 위해 다양한 영향인자(홀 형상, 홀 직경, 홀 관통철근, 매입깊이 등)에 대한 유공강판 전단연결재의 인발저항성능 및 거동 특성을 실험적으로 규명하였다.

2. 유공강판 전단연결재의 인발실험

2.1 인발 시험체 상세

일반적으로 유공강판 전단연결재의 성능을 지배하는 인자로서 홀 직경, 홀 간격, 홀 위치, 홀 관통철근 배근 등으로 알려져 있으나, 기존 연구 결과 최대 성능을 발휘하는 유공

강판 전단연결재 홀 직경은 전단연결재 높이의 약 0.45배, 홀 간격은 홀 직경의 약 2배 정도인 것으로 보고되고 있다(구현본 등, 2005; 김형렬 등, 2006). 따라서 본 연구에서는 강관말뚝머리부에 적용되는 유공강판 전단연결재의 인발저항성능을 평가하기 위해 높이 100 mm, 홀 직경 40 mm (=0.4배), 50 mm(=0.5배), 60 mm(=0.6배), 홀 간격 120 mm (=홀 직경 60 mm인 경우 2.0D)인 유공강판 전단연결재를 사용하여 그림 2에서 보는 바와 같은 직사각형 블록 형태의 인발 시험체 10개를 제작하였다. 삽입강판의 홀 직경 및 형상, 홀 관통철근 개수, 매입깊이 등에 따른 시험체별 상세는 표 1에서 보는 바와 같으며, Series I과 II를 통해 홀 직경 및 홀 관통철근이 인발저항성능에 미치는 영향을, Series III과 IV를 통해 매입깊이 및 홀 형상이 인발저항성능에 미치는 영향을 평가하였다.

2.2 재료특성 및 실험방법

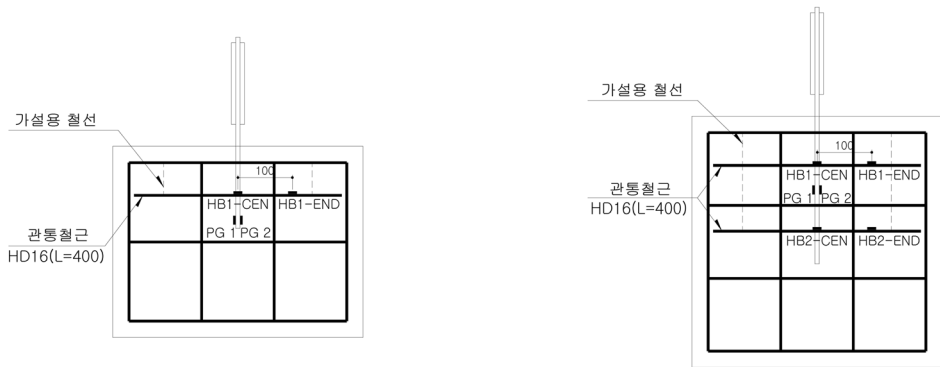
본 연구에서 인발 시험체 제작에 사용된 재료 특성은, 표 2에서 보는 바와 같이, 유공강판 전단연결재 제작에 사용된 SS400 강재의 경우 항복강도 321.4 MPa, 인장강도 441.5 MPa, 연신율 33.7%인 것으로 나타났으며, 철근(H16)은 항복강도 490.1 MPa, 인장강도 584.9 MPa, 연신율 18.1%, 콘크리트의 평균압축강도는 27.3 MPa인 것으로 나타났다. 한편 유공강판 전단연결재의 인발실험은 250 kN 만능시험기

표 1. 인발 시험체 상세

구분	시험체명	홀 형상	홀 직경	홀 개수	매입깊이	관통철근 개수
Series I	PN-0015-N	-	-	-	150 mm	-
	PO-5015-N	O형(폐합형)	50 mm	1 EA	150 mm	-
	PO-6015-N	O형(폐합형)	60 mm	1 EA	150 mm	-
Series II	PO-4015-R	O형(폐합형)	40 mm	1 EA	150 mm	1 EA
	PO-5015-R	O형(폐합형)	50 mm	1 EA	150 mm	1 EA
	PO-6015-R	O형(폐합형)	60 mm	1 EA	150 mm	1 EA
Series III	PO-5027-N	O형(폐합형)	50 mm	2 EA	270 mm	-
	PO-5027-R	O형(폐합형)	50 mm	2 EA	270 mm	2 EA
Series IV	PU-5027-N	U형(개방형)	50 mm	2 EA	270 mm	-
	PU-5027-R	U형(개방형)	50 mm	2 EA	270 mm	2 EA

표 2. 인발 시험체 제작에 사용된 재료 특성

콘크리트			철근 (H16)			강판 (SS400)		
압축강도 (MPa)			항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
No.1	No.2	No.3						
27.77	27.96	26.16	490.1	584.9	18.1	321.4	441.5	33.7



(a) 유공강판의 매입깊이가 150mm인 경우

(b) 유공강판의 매입깊이가 270mm인 경우

그림 3. 인발 시험체의 변위계 및 변형률 게이지 설치 위치

(UTM)에 시험체를 고정·거치한 후, 0.5 mm/min의 속도의 변위제어(Displacement Control)된 인발하중을 정적재하하여 수행하였으며, 작용하중에 의한 변형율은 그림 3에서 보는 바와 같이 설치된 변형률 게이지(Strain Gauge)로 측정하고 이를 Data Logger(TDS-303)를 이용해 수집하였다.

3. 유공강판 전단연결재의 인발저항성능 평가

3.1 실험결과 및 파괴특성

실험결과, 모든 인발 시험체의 균열 진전 양상은 유사한 경향을 보였으나 균열 발생량과 범위는 시험체별로 다소 상이한 것으로 나타났으며, 측정된 시험체별 균열 및 최대하중, 최대하중에서의 변위는 표 3에서 보는 바와 같다.

한편 시험체의 최종 파괴는 유공강판 전단연결재의 항복·파단 또는 콘크리트 블럭의 균열 증가에 따른 유공강판 전단연결재의 뿔힘에 의한 것으로 나타났으며, 각 시험체별 최종파괴모드는 그 특성에 따라 그림 4에서 보는 바와 같이 5가지로 분류하였다.

먼저 삽입강판의 파단 또는 강판 삽입부 주변 콘크리트의 박리없이 매입된 강판과 콘크리트 계면의 순수 부착 파괴에

의해 최종 파괴되는 양상을 파괴모드 I로 분류하였으며, 이러한 파괴모드는 인발 시험체 중 무공강판을 150 mm 깊이로 매입한 시험체(PN-0015-N)에서 확인할 수 있었다.

또한 강판과 콘크리트 계면의 부착 파괴 이후, 유공강판 내 홀에서의 콘크리트 다웰 작용에 의해 저항하던 시험체가 홀 부근 콘크리트의 지압파괴에 따른 삽입강판의 인발에 의해 최종 파괴되는 양상을 파괴모드 II로 분류하였다. 이러한 취성적인 파괴모드는 홀 관통철근을 배근하지 않은 시험체 중 홀 직경 50 mm, 60 mm인 유공강판을 150 mm 깊이로 매입한 시험체(PO-5015-N, PO-6015-N)에서 확인할 수 있었으며, 해당 시험체는 파괴모드 I과 같이 삽입강판의 파단 또는 강판 삽입부 주변 콘크리트의 박리가 발생되지 않았다.

이와 달리 인발 시험체가 유공강판 전단연결재의 매입깊이 부족으로 강판 삽입부 주변 콘크리트의 국부적인 박리에 의해 최종 파괴되는 양상을 파괴모드 III으로 분류하였으며(삽입강판 및 관통철근 파단 미발생), 이러한 파괴모드는 홀 관통철근을 배근한 시험체 중 홀 직경 40 mm, 50 mm인 유공강판을 150 mm 깊이로 매입한 시험체(PO-4015-R, PO-5015-R)에서 확인할 수 있었다.

한편 강판과 콘크리트 계면의 부착 파괴 이후, 콘크리트의

표 3. 인발저항성능 평가결과

시험체명	균열하중 (kN)			최대하중 (kN)	최대하중시 변위 (mm)	최종파괴모드		
	블록상면 균열	블록측면 수직균열	블록측면 수평균열			콘크리트 박리	유공강판 항복/파단	유공강판 뺄림
PN-0015-N	15	N/A	N/A	16.6	1.95	X	X	O
PO-5015-N	48	97	97	97.4	5.94	X	X	O
PO-6015-N	76	88	94	99.2	5.20	X	X	O
PO-4015-R	64	78	N/A	78.3	7.13	O	X	O
PO-5015-R	33	69	69	81.3	5.21	O	X	O
PO-6015-R	36	N/A	N/A	100.8	12.02	X	O	X
PO-5027-N	85	141	-	145.6	12.73	X	O	X
PO-5027-R-A	115	147	147	147.1	12.51	X	O	X
PO-5027-R-B	130	135	N/A	154.7	14.40	X	O	X
PU-5027-N	118	136	-	146.1	37.48	X	O	X
PU-5027-R	148	153	153	202.2	26.76	O	X	O

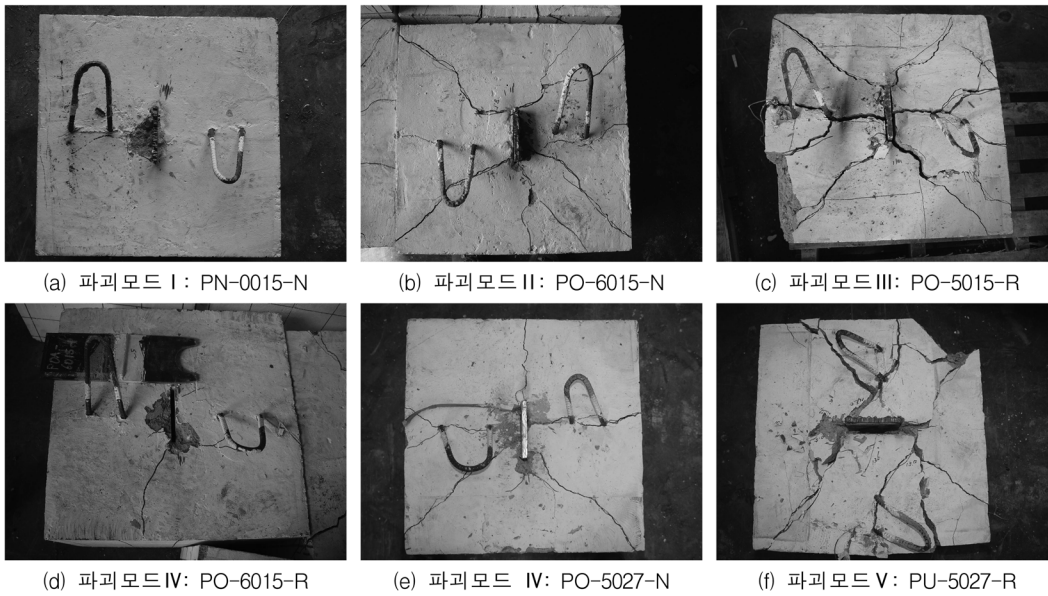


그림 4. 인발 시험체의 파괴모드

다웰 작용 및 홀 관통철근의 보강 효과에 의해 저항하던 시험체가 삽입된 유공강판 전단연결재 또는 홀 관통철근의 항복 및 파단으로 최종 파괴되는 양상을 파괴모드 IV로 분류하였다(삽입강판 주변 콘크리트 박리 미발생). 이러한 파괴모드는 홀 직경 60 mm인 폐합형(O형) 유공강판을 150 mm 깊이로 매입한 시험체 중에서 홀 관통철근을 배근한 시험체(PO-6015-R), 홀 직경 50 mm인 폐합형(O형) 유공강판을 270 mm 깊이로 매입한 모든 시험체(PO-5027-N, PO-5027-R), 홀 직경 50 mm인 개방형(U형) 유공강판을 270 mm 깊이로 매입한 시험체 중에서 홀 관통철근을 배근하지 않은 시험체(PU-5027-N)에서 확인할 수 있었으며, 이 중 PO-6015-R 시험체는 삽입강판 항복 이후 유공부의 단면적 부족으로 유공강판 전단연결재의 파단에 이르는 양상을 보였다. 파괴모드 IV의 경우, 가공된 홀에서 발현되는 콘크리트 다웰 효과 이외에 충분한 매입깊이와 홀 관통철근에 의해 삽입강판의 완전한 정착이 구현됨에 따라 유공강판 전단연결재와 홀 관통철근의 고유저항성능이 충분히 발현되며, 이로 인해 해당 시험체의 인발저항성능은 유공강판 전단연결재의 전단

저항성능에 의해 지배되는 양상을 보였다. 또한 최종파괴가 강재 요소인 유공강판 전단연결재 또는 홀 관통철근의 파단에 기인함에 따라 부착 또는 콘크리트 박리에 의해 취성 파괴되는 시험체와는 달리 최대하중 이후 상당한 연성거동양상을 확인할 수 있었다.

아울러 인발 시험체의 최종파괴가 유공강판 삽입부 주변 콘크리트의 박리(파괴모드 III), 유공강판 전단연결재의 항복 및 파단(파괴모드 IV) 등과 같이 국부적인 파괴에 기인한 것이 아니라, 시험체 내력 초과에 따른 콘크리트 모체 전반의 파괴를 파괴모드 V로 분류하였으며, 이러한 파괴모드는 관통철근과 함께 홀 직경 50 mm인 개방형(U형) 유공강판을 270 mm 깊이로 매입한 시험체(PU-5027-R)에서 확인할 수 있었다.

3.2 실험결과 분석

3.2.1 홀 직경에 따른 인발저항성능의 차이

삽입강판의 홀 가공 유무에 따른 인발저항성능의 차이를 살펴보면, 그림 5(a)에서 보는 바와 같이, 홀 직경이 각각

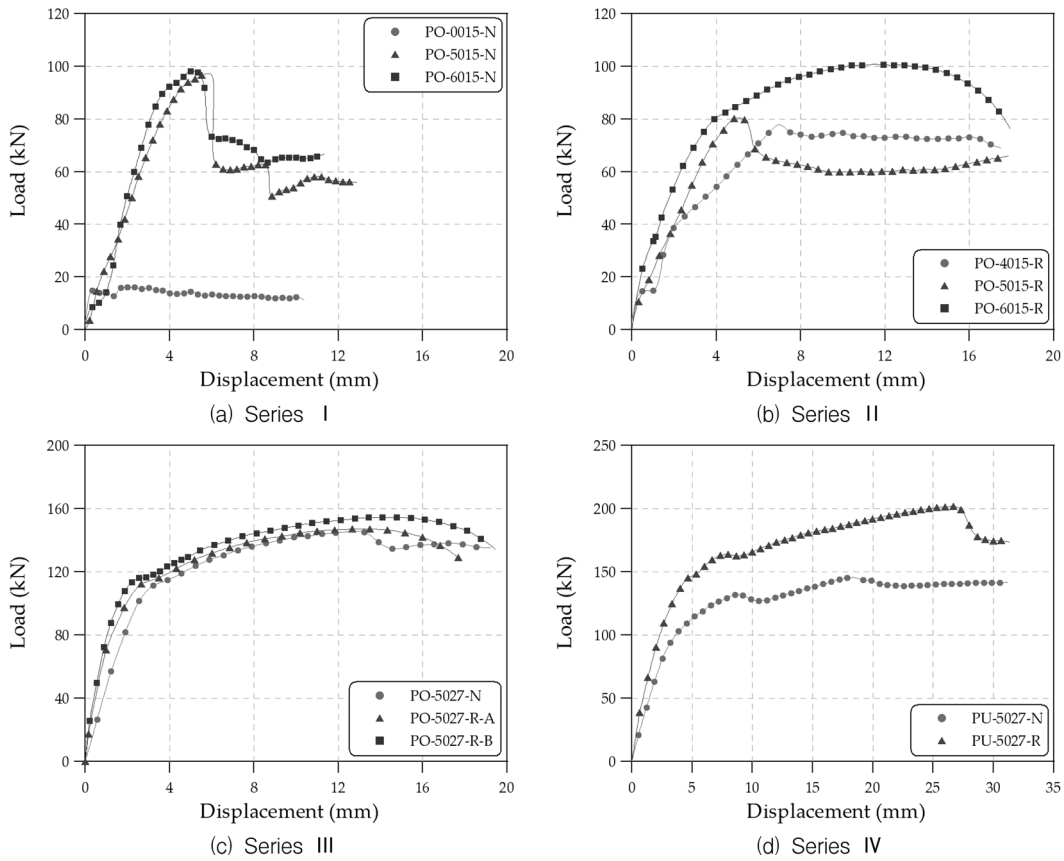


그림 5. 유공강판 전단연결재의 인발저항성능 평가 결과

50 mm와 60 mm인 유공강판을 관통철근 없이 매입한 시험체(PO-5015-N, PO-6015-N)의 인발저항성능은 무공강판을 매입한 순수 부착 시험체(PN-0015-N)에 비해 약 6배 정도 큰 것으로 나타났으며, 이와 같은 결과는 판재형 전단연결재에 홀을 가공·배치하는 경우 강판과 콘크리트의 부착 이외에 홀에서 발현되는 콘크리트 다웰 작용이 인발저항성능 향상에 매우 긍정적인 영향을 미치는 것을 의미한다.

또한 삽입강판의 홀 직경에 따른 인발저항성능의 차이를 살펴보면, 먼저 홀 관통철근을 배근하지 않은 시험체(PO-XX15-N 계열)의 경우, 그림 5(a)에서 보는 바와 같이, 홀 직경이 유공강판 전단연결재 높이의 0.5배(=50 mm)와 0.6 배(=60 mm)인 시험체(PO-5015-N, PO-6015-N)의 최대인발하중은 거의 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 유공강판 전단연결재의 저항성능은 홀 직경이 전단연결재 높이의 약 0.45배까지 선형적으로 증가하나 그 이상의 직경에서는 최대 성능과 유사한 수준을 유지한다는 기존 연구 결과와도 일치한다(구현본 등, 2005; 김형열 등, 2006).

그러나 홀 관통철근을 배근한 시험체(PO-XX15-R 계열)의 경우, 그림 5(b)에서 보는 바와 같이, 홀 직경이 유공강판 전단연결재 높이의 0.4배(=40 mm)와 0.5배(=50 mm)인 시험체(PO-4015-R, PO-5015-R)의 최대인발하중은 약 4% 정도의 미소한 차이를 보인 반면, 홀 직경이 유공강판 전단연결재 높이의 0.6배(=60 mm)인 시험체(PO-6015-R)의 최대인발하중은 이들 시험체에 비해 약 24~29% 정도 향상되는 것으로 나타났다. 또한 전반적으로 홀 직경이 커짐에 따라 상대적으로 초기 강성이 증가하고 동일한 하중레벨에서의 변위가 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 유공강판 전단

연결재의 홀 직경이 클수록 관통철근을 제외한 홀 여유 공간 역시 커짐에 따라 상대적으로 콘크리트 충전에 유리하기 때문인 것으로 추정된다.

3.2.2 홀 관통철근 유무에 따른 인발저항성능의 차이

일반적으로 유공강판 전단연결재의 관통철근은 홀에서 발현되는 콘크리트의 다웰 효과와 함께 물리적 저항 요소를 작용함에 따라 인발저항성능 향상에 상당히 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 실험결과, 홀 관통철근 유무에 따른 인발저항성능의 차이를 살펴보면, 먼저 그림 5(a), (b)에서 보는 바와 같이, 홀 직경 60 mm인 유공강판을 150 mm 깊이로 매입한 시험체(PO-6015-X 계열)의 경우, 최대인발하중은 홀 관통철근의 유무에 상관없이 거의 유사한 것으로 나타났으나, 홀 관통철근을 배근한 시험체(PO-6015-R)가 최대하중 이후 상당한 연성을 갖는 것으로 나타났다. 한편 홀 직경 50 mm인 유공강판을 150 mm 깊이로 매입한 시험체(PO-5015-X 계열)의 경우, 홀 관통철근을 배근한 시험체(PO-5015-R)의 최대인발하중은 홀 관통철근을 배근하지 않은 시험체(PO-5015-N)에 비해 오히려 17% 정도 감소하는 것으로 나타났으나, 이는 언급한 바와 같이 홀 직경이 50 mm인 유공강판의 경우 관통철근이 차지하는 공간을 제외한 홀 여유 공간(약 17 mm)이 콘크리트의 완전한 충전이 실현될 만큼 충분히 확보되지 못한 데에 기인한 것으로 판단된다.

한편 그림 5(c)에서 보는 바와 같이, 홀 직경 50 mm인 유공강판을 270 mm 깊이로 매입한 시험체(PO-5027-X 계열)의 경우에는 최대인발하중과 거동 특성에 큰 차이가 없는

것으로 나타났으며, 이는 유공강관 전단연결재의 매입깊이가 충분히 확보되는 경우 부착 및 콘크리트 다웰 성능만으로도 완전한 정착이 실현됨에 따라 홀 관통철근의 유무에 상관없이 우수한 인발저항성능을 확보하는 것으로 판단된다.

3.2.3 매입깊이에 따른 인발저항성능의 차이

유공강관 전단연결재의 매입깊이에 따른 인발저항성능의 차이를 살펴보면, 홀 관통철근의 배근없이 홀 직경 50 mm 인 유공강관을 매입한 시험체(PO-50XX-N 계열)의 경우, 그림 5(a), (c)에서 보는 바와 같이, 유공강관을 270 mm 깊이로 매입한 시험체(PO-5027-N)의 최대인발하중은 동일한 조건의 유공강관을 150 mm의 깊이로 매입한 시험체(PO-5015-N)에 비해 약 50% 정도 큰 것으로 나타났다. 이러한 경향은 홀 관통철근을 배근한 시험체(PO-50XX-R 계열)에서도 확인할 수 있었으며, 그림 5(b), (c)에서 보는 바와 같이, 실제로 유공강관을 270 mm 깊이로 매입한 시험체(PO-5027-R)의 최대인발하중은 150 mm의 깊이로 매입한 시험체(PO-5015-R)에 비해 약 86% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 매입깊이에 따른 강-콘크리트 부착 면적과 강관 길이에 따른 홀 개수 차이가 유공강관 전단연결재의 부착 및 다웰 성능에 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다.

한편 그림 5(c)에서 보는 바와 같이, 유공강관을 270 mm 깊이로 매입한 시험체(PO-5027-X 계열)는 홀 관통철근의 유무에 상관없이 최대인발하중은 물론 거동 측면에서 큰 차이를 보이지 않으며, 이는 언급한 바와 같이 유공강관의 매입깊이가 충분히 확보되는 경우에는 부착 및 콘크리트 다웰 성능만으로도 소요정착성능을 모두 충족하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 홀 관통철근은 유공강관 전단연결재의 매입깊이에 따라 생략 가능할 것으로 사료되며, 아울러 홀 관통철근 배근 효과에 상응하는 적정 매입깊이는 추후 연구를 통해 정량적으로 규명되어야 할 것으로 판단된다.

3.2.4 홀 형상에 따른 인발저항성능의 차이

유공강관 전단연결재의 홀 형상에 따른 인발저항성능의 차이를 살펴보면, 그림 5(c), (d)에서 보는 바와 같이, 먼저 홀 관통철근의 배근없이 홀 직경 50 mm인 유공강관을 270 mm 깊이로 매입한 경우, 개방형(U형) 유공강관을 매입한 시험체(PU-5027-N)와 폐합형(O형) 유공강관을 매입한 시험체(PO-5027-N)의 인발저항성능은 거의 동일한 것으로 나타났다. 이와 달리 홀 관통철근이 배근된 경우에는 개방형(U형) 유공강관을 매입한 시험체(PU-5027-R)가 폐합형(O형) 유공강관을 매입한 시험체(PO-5027-R)에 비해 인발저항성능의 뚜렷한 증가를 보이는 것으로 나타났으며, 이는 삽입된 강관이 충분한 매입깊이와 홀 관통철근에 의해 완전히 정착된 경우에는 폐합형(O형) 유공강관에 비해 상대적으로 큰 순단면적을 갖는 개방형(U형) 유공강관이 인발저항성능의 발현에 있어 다소 유리하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 강관말뚝머리를 개방형(U형) 유공강관 전단연결재로 보장하는 경우, 홀 관통철근의 효과가 제대로 발현되기 위해서는 철근배근 작업시 정밀시공(관통철근이 유공강관의 홀 내에 위치하도록 시공)이 요구됨에 따라 시공성 측면에서 다소 어려움이 존재할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 유공강관 전단연결재를 활용한 강관말뚝머리 보강방법을 개발하고자, 말뚝머리부의 합성연결 및 하중저항 요소인 유공강관 전단연결재의 인발저항성능 및 거동 특성 변화를 실험적으로 규명하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 유공강관 전단연결재는 동일한 조건의 무공 관재형 전단연결재에 비해 최대 6배 정도 높은 인발저항성능을 갖는 것으로 나타남에 따라 강관과 콘크리트의 부착 성능 외에 가공된 홀에서 추가 발현되는 다웰 효과가 인발저항성능 향상에 매우 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.
2. 유공강관 전단연결재의 홀 직경은 전단연결재 높이의 절반 정도임과 동시에 관통철근 배근 후에도 콘크리트의 완전한 충전이 가능할 만큼 홀 내의 충분한 여유 공간을 확보하는 것이 바람직하다.
3. 유공강관 전단연결재에 홀 관통철근은 초기 강성의 증진과 최대하중 이후 연성 발현 등 우수한 구조적 거동 특성을 확보하기 위해 반드시 필요한 것으로 나타났다.
4. 유공강관 전단연결재가 충분한 매입깊이에 의해 부착 성능과 다웰 성능만으로 완전한 정착이 실현되는 경우에는 홀 관통철근의 배근 효과에 상응하는 초기 강성, 인발강도, 연성거동이 발현되는 것으로 나타났다.
5. 높이 100 mm인 유공강관 전단연결재를 강관말뚝머리 연결부의 결합용 구조 요소로서 활용하기 위해서는 직경 60 mm의 폐합형(O형) 홀을 직경의 2배 정도의 간격을 두고 배치·가공하되, 충분한 매입깊이와 홀 관통철근에 의해 완전한 정착을 도모하는 것이 바람직하다.

참고문헌

- 구현본, 김형열, 김정호(2005) 유공관재형 전단연결재의 성능실험 연구, **한국구조물진단학회 봄학술발표회 논문집**, 한국구조물진단학회, pp. 3-8.
- 김형열, 구현본(2006) 강-콘크리트 합성 바닥판용 전단연결재의 합성 거동 연구, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제26권, 제1A호, pp. 91-97.
- 안진희, 김상효, 구현본, 강근희(2007) Perfobond Rib 전단연결재의 잔류강도 및 잔류강도 평가, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제2A호, pp. 237-245.
- 정철현, 이홍수, 박종면, 김영호(2004) 합성작용을 위한 새로운 Perfobond 전단연결재, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제24권, 제3A호, pp. 525-532.
- 정철현, 이홍수, 유성근, 최외호(2005) 원형강관 거더와 콘크리트 바닥판 사이 형 perfobond 리브 전단연결재의 실험적 연구, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제25권, 제1A호, pp. 1-12.
- 정철현, 이홍수 (2005) 형 perfobond 리브 전단연결재의 전단강도 평가, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제25권, 제5A호, pp. 879-888.
- Leonhardt, F., André, W., Andr m H.-P., and Harre, W. (1987) Neues Vorteilhaftes Verbundmittel f r Stahlverbund-tragwerke mit Hoher Dauerfestigkeit, **Beton und Stahlbetonbau**.
- Machacek, J. and Studnicka, J. (2002) Perforated shear connectors, **Steel and Composite Structures**, Vol. 2, No. 1, pp. 51-66.
- Oguejiofor, E.C. and Hosain, M.U. (1992) Behaviour of perfobond rib shear connectors in composite beams: full size test, **Canadian Journal of Civil Engineering**, Vol. 19, No. 2, pp 224-235.

- Oguejiofor, E.C. and Hosain, M.U. (1994) A paramatic study of perfobond rib shear connectors, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 21, pp. 614-625.
- Oguejiofor, E.C. and Hosain, M.U. (1997) Numerical analysis of push-out specimens with perfobond rib connectors, *Computers & Structures*, Vol. 62, No. 4, pp. 617-624.
- Sara, B.M. and Bahram, M.S. (2002) Perfobond shear connector for composite construction , *Engineering Journal*, First Quarter, pp. 2-12.
- Veldanda, M.R. and Hosain, M.U. (1992) Behavior of perfobond rib shear connectors : Push-out tests, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 19, No. 1, pp. 1-10.
- Valente, I. and Cruz, P.J.S. (2004) Experimental analysis of perfobond shear connection between steel and lightweight concrete, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 60, pp. 465-479.
- Zellner, W. (1987) Recent designs of composite bridges and a new type of shear connectors. *Proc. ASCE/IABSE Engineering Foundation Conference on Composite Construction*. Henniker, N.H. pp. 240-252.

(접수일: 2008.8.1/심사일: 2008.9.1/심사완료일: 2008.10.30)