

## 강재결합구를 이용한 강관말뚝 합성형 두부결합 방법

### Composite Bonding Methods of Steel Pipe Piles into Pile Caps Using Steel Couplers

오성남<sup>1)</sup>, Sung-Nam Oh, 심창수<sup>2)</sup>, Chang-Su Shim, 유재남<sup>3)</sup>, Je-Nam Yoo, 홍성영<sup>4)</sup>, Sung-Young Hong

<sup>1)</sup> (주)스마트엔지니어링 이사, Director, Smartec Engineering Co., Ltd.

<sup>2)</sup> 서울대학교 공학연구소 특별연구원, Special Researcher, Research Institute of Engineering Science, Seoul National University

<sup>3)</sup> (주)삼안건설기술공사 이사, Director, Saman Engineering Consultants Co., Ltd.

<sup>4)</sup> (주)스마트엔지니어링 대표이사, President, Smartec Engineering Co., Ltd.

**SYNOPSIS :** The existing bonding methods of steel pipe piles into pile caps have many problems during construction or design. To overcome these, the composite bonding method of the bolting type and the welding type are proposed in this study. The full scale test and the numerical analysis using finite element method were performed to verify the function of them.

As results, the method of the filled with concrete in steel pipe piles head was good effective to increase strength. And the composite bonding methods are effective to protect the damage caused by earthquake than the bolted bonding method. Also, the composite bonding methods are cheaper than the existing bonding methods and a good construction as well.

**Key Words :** steel pipe piles, pile caps, the composite bonding method, the bolted bonding method

## 1. 서론

말뚝의 두부는 말뚝본체와 확대기초의 접합점으로 말뚝이 연직지력과 수평지력을 충분히 발휘할 수 있도록 확대기초로부터의 하중을 안전하고 정확하게 말뚝에 전달하는 기능을 갖고 있어야 한다. 일반적으로 구조물을 완공한 후 하중에 의해서 말뚝에 발생하는 응력들 중에서 말뚝의 두부에 발생하는 응력이 최대가 되며, 말뚝과 확대기초의 결합부는 강성이 급변하는 부분으로 구조상의 약점이 되기 쉽다. 특히 말뚝 본체가 고강도화하고, 대구경화 함에 따라 말뚝 1본당 부담하는 하중이 크게 되는 경향이 있으므로 말뚝 두부와 확대기초를 결합하는 방법과 설계법이 문제점으로 대두되고 있다.

국내의 도로교 표준시방서(1996)에 규정된 속채움 콘크리트 방법은 역학적으로 많은 장점을 갖고 있으나, 좁은 공간의 강관말뚝 내부에 미끌림방지와 합판 걸림턱을 용접해야 하기 때문에 시공성 및 품질 확보의 애로점이 있다. 그리고, 십자보강 덮개판을 이용한 볼트식 말뚝머리 결합방법은 인발력 및 휨모멘트를 지압이음용 고장력 볼트 8개로 저항하는 구조로서 지지 능력에 한계가 있다.

따라서, 본 논문에서는 상기에 제시된 방법들에서 지적된 시공성 및 역학적 문제점들을 해결하면서 보다 경제적인 결합방법으로 개발된 강관말뚝 합성형 볼트식 두부결합 방법과 강관말뚝 합성형 용접식 두부결합 방법의 특성과 시공방법을 소개하였다. 그리고, 이 방법들의 구조적인 안전성을 검증하기 위해 내력실험과 수치해석을 행하였다. 또한, 기존 결합방법들과의 공사비를 비교하여 강관말뚝 합성형 두부결합 방법의 경제성을 분석하였다.

## 2. 강관말뚝 합성형 두부결합 방법

강관말뚝 합성형 두부보강방법은 강재 결합구와 강관말뚝의 연결방식에 따라 강관말뚝 합성형 볼트식 두부결합 방법(이하 합성형 볼트식이라 한다)과 강관말뚝 합성형 용접식 두부결합 방법(이하 합성형 용접식이라 한다)으로 분류된다. 이 두가지 형식의 결합방법의 구조상세를 그림 1과 그림 2에 각각 제시하였다.

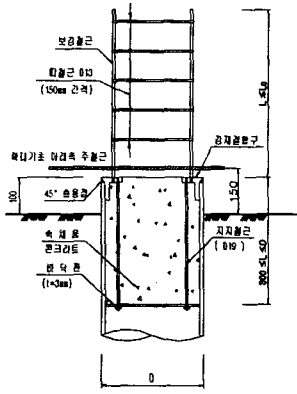


그림 1. 강관말뚝 합성형 용접식 두부결합 방법

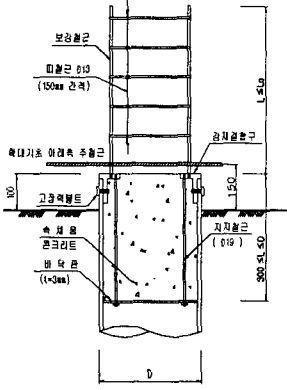
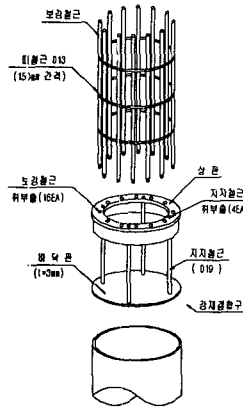


그림 2. 강관말뚝 합성형 볼트식 두부결합 방법

합성형 용접식은 강재결합구와 강관말뚝을 홈용접으로 연결하고, 결합구의 내부를 콘크리트로 충전하는 방법이다(그림 1). 합성형 볼트식은 강재결합구와 강관말뚝을 지압이음용 고장력 볼트로 체결하고, 결합구의 내부를 콘크리트로 충전하는 방법이다(그림 2). 강재결합구는 상판, 바닥판, 그리고 지지철근으로 구성되어 있으며, 이들의 구조상세 및 기능은 다음과 같다.

상판은 강관말뚝의 두부에 걸쳐지며, 하중을 강관말뚝으로 전달하는 기능을 한다. 상판의 상부에는 보강철근 체결용 나사구멍(16개)과 지지철근 체결용 나사구멍(4개)이 형성되어 있다. 합성형 볼트식의 경우, 상판의 측면에는 강관말뚝 체결용 볼트구멍(8~16개)이 일정 간격으로 형성되어 있다. 합성형 용접식의 경우, 상판의 걸림턱 부분에는 45°의 경사각을 갖는 홈이 형성되어 있다.

바닥판(두께=3mm)은 양단에 나사가 형성된 지지철근을 이용하여, 상판에 형성된 나사구멍에 나사 결합되고, 바닥판에 형성된 구멍과 너트 결합되어 상판과 일체로 형성된다. 바닥판은 속채움 콘크리트가 빠져 나가지 못하게 하는 역할을 한다.

지지철근은 결합구 바닥판과 결합구 상판을 일체로 연결하는 기능을 하며, 양단에 나사가 형성된 이형철근이 이용된다. 지지철근은 속채움 콘크리트로 전달되는 하중의 일부를 상판으로 전달하는 역할을 한다.

보강철근은 확대기초로부터 말뚝 두부로 전달되는 하중을 상판으로 전달하는 기능을 한다. 상시와 지진시에 대하여 말뚝 축방향 최대 압입력과 최대 휨모멘트 그리고 말뚝 축방향 최소 압입력과 최대 휨모멘트의 크기에 따라 보강철근의 소요개수가 결정된다.

속채움 콘크리트는 상판의 중공부를 통하여 바닥판에 이르게 되며, 충전 깊이는 300mm~강관의 직경 정도이다. 확대기초는 강성이 매우 크지만 강관말뚝 두부는 상대적으로 강성이 매우 작기 때문에 말뚝 두부 결합부는 응력이 집중되는 부분으로 국부변형이 발생하기 쉽다. 따라서, 속채움 콘크리트는 강관말뚝과의 합성작용으로 이를 방지하는 역할을 하며, 말뚝 두부에 작용하는 하중의 일부를 강관말뚝과의 부착력으로 지지하는 역할을 한다.

강관말뚝 합성형 두부결합 방법의 시공요령은 다음과 같다. 먼저 현장에서 지지철근을 상판에 형성된 나사구멍에 나사 결합하고, 바닥판에 형성된 구멍과 너트 결합하여 강재결합구를 완성한다. 지반에 근입된 강관말뚝을 확대기초 저면에서 20cm 남겨두고, 강관말뚝의 머리부를 자동절단기로 절단한다. 합성형 볼트식의 경우, 유압천공기를 이용하여 강관의 측면에 8개~16개의 볼트공을 천공한다. 강재 결합구를

강관말뚝 머리부에 삽입하면 상판의 걸림턱에 의해 강관말뚝 두부에 걸쳐지게 되는데, 상판의 측면에 미리 형성된 볼트공과 강관말뚝에 천공된 볼트공을 일치시켜 고장력 볼트로 체결한다. 합성형 용접식의 경우에는 강재결합구를 강관말뚝 두부에 삽입하고, 상판의 걸림턱 부분에 공장에서 미리 형성된 45°의 경사각을 갖는 홈부분과 강관말뚝을 홈용접한다. 확대기초의 하부 주철근을 배근하면서 상판의 나사구멍에 보강철근을 나사 결합하고, 확대기초의 콘크리트를 타설하면서 동시에 결합구 내부에 콘크리트를 충전하여 확대기초를 완성한다.

### 3. 내력실험

강관말뚝 합성형 두부결합 방법에 대한 구조적 검토를 수행하고, 내하력을 평가하기 위해서 실규모의 부재를 제작하여 압축실험과 인장실험을 행하였다. 내하력 검증을 위한 실험부재는 압축실험 부재가 2개이고, 인장실험부재는 합성형 볼트식과 합성형 용접식 각각 1개와 비교실험을 위하여 제작한 십자보강 볼트식이 1개이다(표 1, 그림3, 그림 5). 실험은 정적인 거동을 평가하기 위해서 우선 재료의 탄성범위 내에서 하중을 재하하여 측정을 수행하고, 내하력 및 비선형 거동을 평가하기 위한 극한상태의 파괴 실험을 수행하였다. 예상된 내하력을 기준으로 하중재하는 건설기술연구원에 있는 350톤 용량의 액추에이터(Actuator)를 이용하였다. 실험부재의 거동을 파악하기 위하여 부착한 센서의 종류는 표 2에 나타내었다.

표 1. 실험부재

부재 \ 구분	강관말뚝(mm)	결합	특징	기타	비고
압축부재 1	D406.4 (t=9)	합성형 볼트식	M20 볼트, 8개	확대기초 존재	- 콘크리트 압축강도 평균 : 234(kg/cm <sup>2</sup> )
압축부재 2	D406.4 (t=9)	합성형 볼트식	M20 볼트, 8개	확대기초 존재	
인장부재 1	D406.4 (t=9)	합성형 볼트식	M20 볼트, 8개		- 보강철근(SD30) D19, 12개
인장부재 2	D406.4 (t=9)	합성형 용접식	현장용접		
비교부재	D406.4 (t=9)	십자보강 볼트식	M16 볼트 <sup>1)</sup> , 8개		

주) 1) 비교 부재는 D406.4mm 강관말뚝에서 M16 고장력볼트(B10T)를 이용하고 있으므로 이에 따른 것이다.

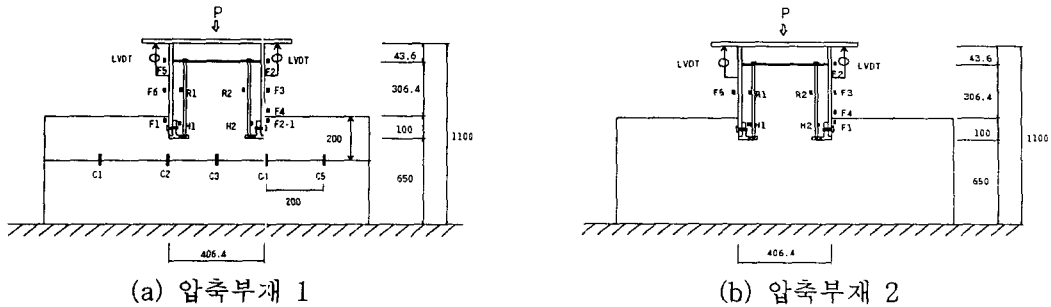
표 2. 측정 센서

측정항목	내용	센서종류
변위	- 부재의 변위 - Actuator의 변위	- CDP-50(1/100mm) - 자체 변위계
하중	재하하중	Load Cell
강재 변형률	Steel Strain (강관말뚝, 철근, 결합구)	WFLA(6mm)
콘크리트 변형률	Concrete Strain	매립형 콘크리트게이지

#### 3.1 압축실험 결과

탄성거동에 대한 평가를 수행한 이후에 비선형거동을 보고, 극한내하력을 평가하기 위한 압축실험을 수행하였다. 강관말뚝의 하중-변형률 관계를 나타내면 그림 4와 같은데, 이를 기준으로 압축하중에 의한 내하력을 평가하면 압축부재 1의 항복하중은 280톤이고, 압축부재 2의 항복하중은 309톤이다. 항복하중과 이를 안전율 1.7로 나누어 산정한 값을 허용하중으로 하면 압축부재 1의 허용하중은 164톤이고, 압축부재 2의 허용하중은 181톤이다. 따라서, 합성형 두부결합 방법의 압축 내하력은 말뚝재료의 허용내력인

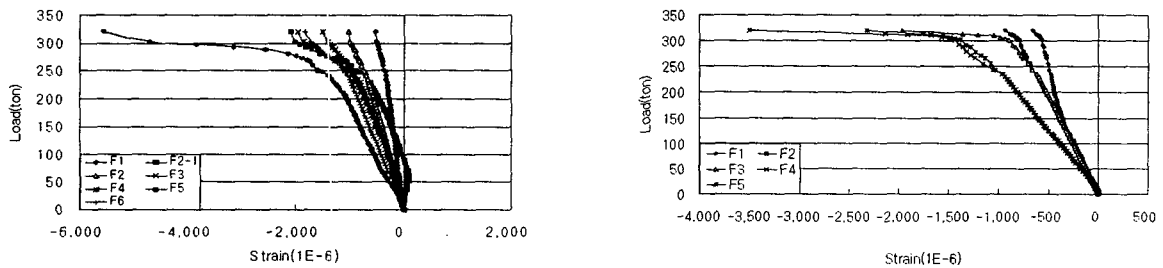
157톤과 말뚝재료의 항복내력인 270톤 이상을 보유하고 있으므로, 합성형 두부결합 방법은 압축력에 대해 충분한 안전성을 확보하고 있다고 할 수 있다.



(a) 압축부재 1

(b) 압축부재 2

그림 3. 압축실험 부재의 측정내용



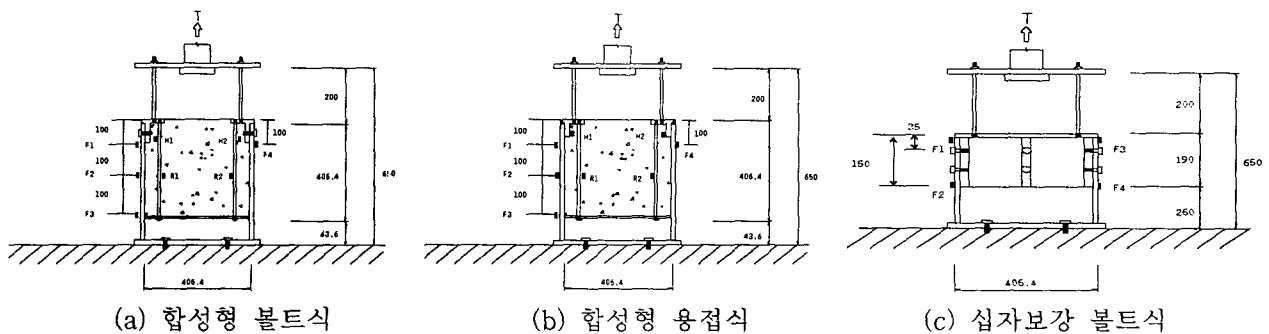
(a) 압축부재 1의 하중-변형을 관계

(b) 압축부재 2의 하중-변형을 관계

그림 4. 압축부재의 하중-변형을 관계

### 3.2 인장실험 결과

인장실험을 수행하기 위해 제작한 합성형 볼트식, 합성형 용접식, 그리고 비교실험을 위하여 제작한 십자보강 볼트식에 대한 실험 결과를 각각에 대해서 구분하여 기술한다.



(a) 합성형 볼트식

(b) 합성형 용접식

(c) 십자보강 볼트식

그림 5. 인장실험 부재의 측정내용

합성형 볼트식의 하중-변위 관계(그림 6)와 하중-변형을 관계(그림 7)를 살펴보면 극한변형능력이 상당한 수준임을 알 수 있다. 이는 볼트의 지압내력과 함께 속채움 콘크리트의 부착 내력이 함께 발휘하기 때문인 것으로 판단된다. 이는 파괴모드에서도 관찰된다. 또한 지지철근의 뿔힘도 일부 관찰되고 있어서 콘크리트가 내하력에 미치는 영향이 상당히 있음을 알 수 있다.

합성형 용접식의 하중-변위 관계(그림 8)로부터 극한변형능력이 합성형 볼트식에 비해서 작은 것을 알 수 있는데, 이는 파괴모드가 강제결합구의 상판에 나사 결합되어 있는 보강철근이 뿔힘에 의한 것이

므로 원래의 내하력을 충분히 발휘되지 못했기 때문이다. 따라서, 합성형 용접식의 내하력을 정확히 파악하기 위해서는 보강철근의 개수를 증가시켜서 인장시험을 실시해야 할 것으로 판단된다. 그리고, 하중-변형을 관계(그림 9)를 살펴보면 보강철근의 뽑힘이 발생하기 시작하는 시점부터는 강관말단은 힘을 받지 않고 있음을 보여주고 있고, 힘을 받고 있는 부분의 측정결과는 극한하중까지 거의 선형적인 거동을 보여주고 있기 때문에 보강철근의 뽑힘만 방지한다면 훨씬 높은 내하력을 지닐 수 있다고 판단된다.

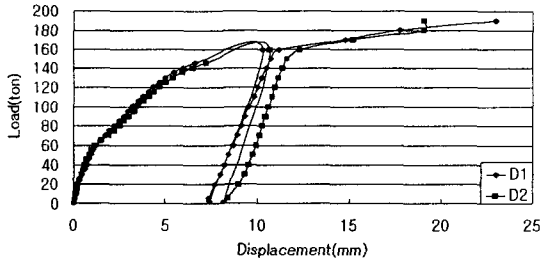


그림 6. 합성형 볼트식의 하중-변위 관계

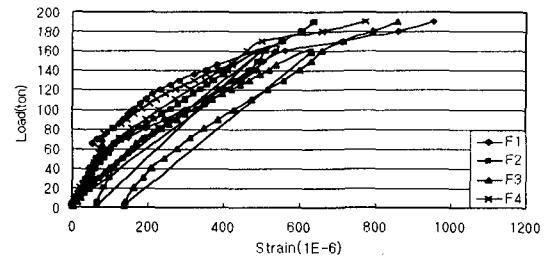


그림 7. 합성형 볼트식의 하중-변형률 관계

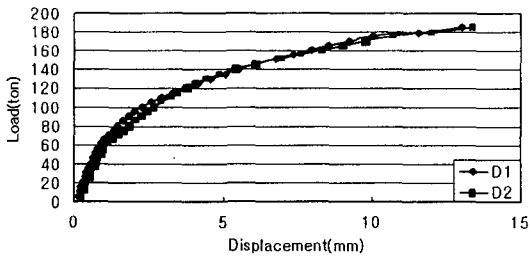


그림 8. 합성형 용접식의 하중-변위 관계

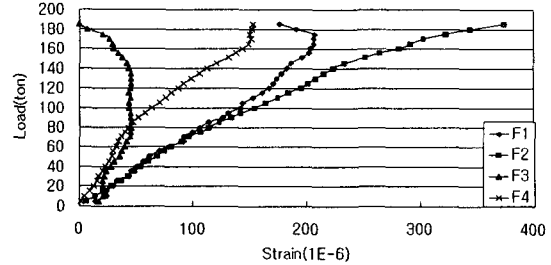


그림 9. 합성형 용접식의 하중-변형률 관계

합성형 두부결합 방법과의 비교를 위해서 수행한 십자보강판을 이용한 볼트식 두부결합 부재의 인장 하중에 의한 극한 내하력은 79.9톤으로 나타났다. 파괴형상은 볼트의 전단파괴를 보여주고 있다. 측정된 항목별로 비교부재의 거동을 살펴보면 우선 하중-변위 관계는 그림 10과 같은데, 그림에서 보듯이 변위의 크기가 탄성범위에서도 상당한 수준으로 발생함을 알 수 있다. 또한, 극한하중에 도달한 이후의 변형 능력이 거의 없기 때문에 연성(ductility)과 에너지 소산능력이 떨어질 것으로 판단된다. 또한, 하중-변위 율관계를 살펴보면 그림 11과 같은데 변위 측정결과와 유사한 경향을 보여주고 있다. 극한상태에서 강관말단은 아직 완전히 항복하지 않은 상태에 있는 것을 알 수 있다. 따라서, 볼트의 수나 직경을 증가시켜서 내력을 증가시키고 극한변형능력을 증가시킬 필요가 있을 것으로 판단된다.

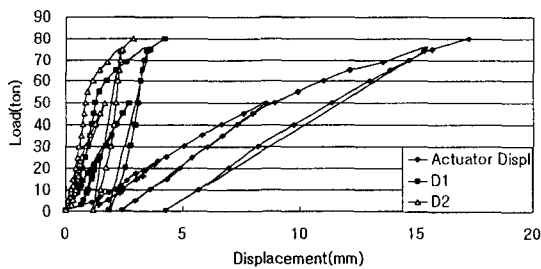


그림 10. 비교부재의 하중-변위 관계

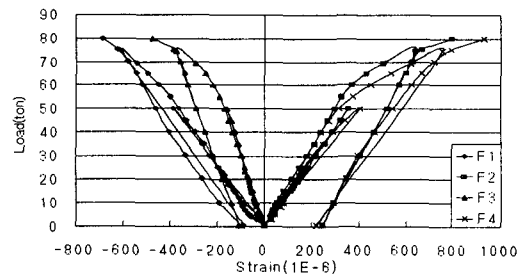


그림 11. 비교부재의 하중-변형률 관계

### 3.3 내력실험 결과분석

압축실험과 인장실험에 대한 결과를 전체적으로 비교 분석하고자 한다. 우선, 가장 중요한 항목인 내

하력에 대해서 정리하면 표 3과 같다. 강관말뚝 합성형 두부결합 방법의 내하력은 십자보강 볼트식 방법에 비해서 월등히 뛰어난 것을 알 수 있고 파괴모드 역시 충분한 연성을 보여주고 있다.

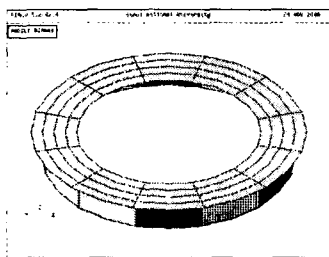
내하력과 더불어 기초에 대한 구조물에서 중요한 것이 내진관련 특성값이라고 할 수 있다. 따라서, 탄성범위에서의 변위와 극한변위를 비교 분석하고자 한다. 표 3에 제시된 것처럼 합성형 두부결합 방법이 탄성영역에서의 강성은 높고 극한변위는 크기 때문에 내진성능이 십자보강 볼트식에 비해서 우수한 것으로 판단된다.

표 3. 실험부재의 내하력 및 변위

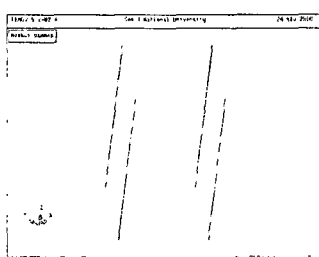
구분	내하력(톤)	탄성영역 변위 (10톤당, mm)	극한변위(mm)	파괴모드	
압축부재	합성형 볼트식	280.0	0.01	0.58	강관말뚝 일부항복
	합성형 볼트식	309.0	0.02	1.70	강관말뚝 일부항복
	강관말뚝 재료	270.0	-	-	-
인장부재	합성형 볼트식	189.7	0.09	21.04	볼트 지압파괴
	합성형 용접식	184.9	0.05	13.20	철근 뺏힘
	십자보강 볼트식	79.9	0.43	3.58	볼트 전단파괴
	보강철근 재료	102.1	-	-	-

#### 4. 수치해석

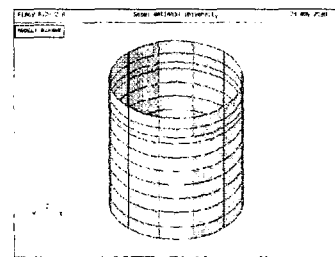
실험부재의 역학적 거동을 규명하기 위해서 범용 유한요소 프로그램인 DIANA-7을 이용하여 수치해석을 하였다. 유한요소 모델링은 결합구 부분과 강관말뚝 부분의 경우 8절점 shell 요소를 사용하였고, 지지철근은 2절점 3차원 truss 요소를 사용하였으며, 콘크리트의 경우 20절점 solid 요소와 15절점 solid 요소를 사용하였다(그림 11).



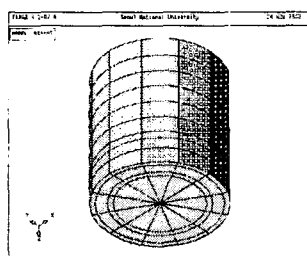
(a) 결합구 모델



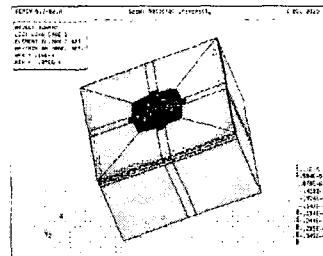
(b) 지지철근 모델



(c) 강관말뚝 모델



(d) 충전 콘크리트 모델



(d) 확대기초 콘크리트 모델

그림 11. 실험부재의 유한요소해석 모델

그리고, 강관말뚝 상부의 모든 절점에서 x방향, y방향, z방향에 대하여 변위를 구속하였다. 볼트 결합

의 경우, 결합구와 강관말뚝이 체결이 되는 부분에 각각 절점을 만들어 두 절점을 linear constraint 'TYINGS'을 사용하여 구속하였다. 콘크리트와 지지철근, 그리고 콘크리트와 강관말뚝도 같은 방법으로 구속하여 강관말뚝 내부에 콘크리트가 충전되어 합성이 된 상태를 구현하였다. 지지철근의 상부 끝은 강관말뚝과 절점을 공유하여 강관말뚝의 두부와 연결된 효과를 주었다. 한편, 강관말뚝과 충전 콘크리트와의 부착특성은 해석적으로 평가하기가 난해한 문제이기 때문에 완전부착과 부착을 무시한 경우로 구분하여 해석하여 합성효과를 평가해 보았다.

## 5. 수치해석 결과 및 분석

인장부재의 유한요소 해석모델을 이용하여 합성형 볼트식과 합성형 용접식에 대하여 12톤의 인장력을 보강철근의 위치에 절점하중으로 가했을 때, 강관말뚝과 충전 콘크리트와의 부착을 고려한 경우와 부착을 무시한 경우에 대하여 해석을 하였다. 해석의 결과로부터 강관말뚝과 콘크리트, 그리고 지지철근의 단면적과 각각에 작용하는 단면의 응력을 이용하여 각 부분들이 받게되는 단면력을 계산하면 표 5와 같다. 예상할 수 있듯이 강관말뚝의 부담은 줄어들고, 충전 콘크리트의 부담이 증가한다. 이는 강관말뚝과 콘크리트의 부착에 의한 합성효과로 인한 것으로 판단된다. 따라서, 사용하중 하에서 좀 더 높은 내하력을 가질 것으로 판단된다. 또한, 합성형 용접식은 합성형 볼트식에 비해서 강관말뚝에서의 응력분포가 균일하고 강관말뚝의 하중분담이 볼트식에 비해서 높기 때문에 강관말뚝의 극한내하력을 충분히 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

압축부재의 유한요소 해석모델을 이용하여 합성형 용접식에 대하여 강관말뚝의 상부에 12톤의 압축력을 면하중으로 가하였을 때의 부착력을 무시한 경우와 부착력을 고려한 경우에 대하여 해석을 행하였다. 해석의 결과로부터 단면력을 계산하면 표 6과 같다. 인장부재와 같이 압축부재에서도 부착의 고려여부, 즉 합성여부에 따라 하중분담이 달라지고 내하력의 차이가 나는 만큼 합성의 효과가 상당하다고 할 수 있다.

표 5. 합성형 볼트식과 합성형 용접식의 인장력에 대한 해석결과

구 분	단면적 (cm <sup>2</sup> )	합성형 볼트식 부착을 무시한 경우		합성형 볼트식 부착을 고려한 경우		합성형 용접식 부착을 고려한 경우	
		응력(kg/cm <sup>2</sup> )	단면력(kg)	응력(kg/cm <sup>2</sup> )	단면력(kg)	응력(kg/cm <sup>2</sup> )	단면력(kg)
강관말뚝	114.9	0.00944	10,846	0.00867	9,960	0.00919	10,559
콘크리트	1,297.2	0.00009	1,158	0.00021	2,720	0.00013	1,673
지지철근	0.113	0.07680	87	0.00353	0.4	0.00353	0.4

표 6. 합성형 용접식의 압축력에 대한 해석결과

구 분	단면적 (cm <sup>2</sup> )	부착을 무시한 경우		부착을 고려한 경우	
		응력(kg/cm <sup>2</sup> )	단면력(kg)	응력(kg/cm <sup>2</sup> )	단면력(kg)
강관말뚝	114.9	-0.00832	-9,600	-0.00650	-7,467
콘크리트	1,297.2	-0.00019	-2,460	-0.00035	-4,540
지지철근	0.113	-0.00092	-0.149	-0.00259	-2.930

## 6. 경제성 분석

기존의 방법(속채움 콘크리트 방법, 십자보강 볼트식 방법)들과 합성형 두부결합 방법(합성형 용접식과 합성형 볼트식)들의 경제성을 비교하기 위하여 건설공사 표준품셈(2001, 건설연구원)과 물가정보(2001년 2월)를 참고로 하여 각 방법들에 대한 공사비를 산출하였다(표 7). 합성형 두부결합 방법은 공

장에서 제작된 강재 결합구를 이용하기 때문에 속채움 콘크리트 방법보다 시공성과 경제성 측면에서 유리하고, 품질관리 역시 용이하다. 또한, 십자보강 볼트식 방법보다 결합구의 무게가 훨씬 가볍기 때문에 취급 및 운반이 용이하고, 가격 또한 저렴하다는 장점을 가지고 있다.

표 7. 강관말뚝 두부결합방법의 공사비 비교 ((주)스마트엔지니어링, 2001) (천원/본당)

구 분 \ 직 경	D406.4	D508.0	D609.6	D812.8
합성형 용접식	113	133	163	230
합성형 볼트식	114	134	165	231
십자보강 볼트식	128	150	178	263
속채움 콘크리트 방법	163	197	232	306

※ 본 공사비 비교는 고속도로건설공사 표준도(한국도로공사, 1999) Type 3를 기준으로 한 것이다.

## 7. 결 론

기존의 강관말뚝 결합방법보다 시공성이 우수하고, 경제적인 합성형 볼트식 두부결합 방법과 합성형 용접식 두부결합 방법을 개발하여 내력실험과 수치해석을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 합성형 두부결합 방법의 압축 내하력은 말뚝재료의 압축 내하력 이상을 보유하고 있으므로, 합성형 두부결합 방법은 압축력에 대해 충분한 안전성을 확보하고 있다고 할 수 있다.
2. 합성형 용접식 두부결합 방법의 인장 내하력은 강관말뚝의 이음방법인 45° 홈용접을 기준으로 하고, 추가적으로 결합구 내부를 콘크리트로 충전하고 있으므로, 인장력에 대해 충분한 안전성을 확보하고 있다고 할 수 있다.
3. 합성형 볼트식 두부결합 방법의 인장 내하력은 보강철근의 인장 내하력 이상을 보유하고 있으나, 볼트로 연결되는 부위에 응력집중이 발생하기 때문에 합성형 용접식의 경우가 좀 더 양호한 탄성거동과 내하력을 보일 것으로 판단된다.
4. 강관말뚝과 충전 콘크리트와의 부착에 의한 합성작용으로 인해서 강관말뚝이 받는 응력이 감소하므로 강관말뚝 결합방법에서 강관말뚝의 일부를 콘크리트로 충전하는 보강 방안은 내하력 향상에 상당한 효과가 있다고 생각된다.
5. 합성형 두부결합 방법이 탄성영역에서의 강성은 높고, 극한변위는 크기 때문에 내진성능이 십자보강 볼트식에 비해서 우수할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 서울대학교 지진공학연구센터 (2001), 강관말뚝 합성형 두부보강 방법의 구조 안전성 검증, 서울대학교 지진공학연구센터 연구보고서.
2. (주)스마트엔지니어링 (2001), 강재결합구를 이용한 강관말뚝 머리보강 합성형 방법, 건교부 신기술 지정 신청서.
3. 건설교통부(1996), 도로교 표준시방서, pp. 117~185, pp. 404~411, pp. 680~734, pp. 759~798
4. 박영호, 김성환, 장용채(1998), "볼트식 강관말뚝 머리보강 방법", 한국지반공학회지, 제14권 제6호, pp. 57~71.
5. 福井次郎, 塩井幸武(1981), "くい頭結合部の耐力に關する模型實驗", 第36回土木學會年次學術講演會, III-307, pp. 612~613
6. Tomlinson M.J.(1994), Pile Design and Construction Practice, E&FN SPON, pp. 280~289