

분할된 원호판을 이용한 강관두부보강법에 관한 연구 Reinforcing Method for Steel Pile Head connection in RC footing

노삼영¹⁾, Noh Sam-Young, 김광모²⁾, Kim Kwang-Mo, 한석희³⁾, Han Seok-Hee, 민인기⁴⁾, Min In-Gi

¹⁾ 한양대학교 조교수, 정회원, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Univ. of Hanyang

²⁾ (주)파일텍씨앤이 대표이사, President, Pile Tech Construction & Engineering Co., Ltd.

³⁾ (주)청석엔지니어링 지반공학부 전무이사, Managing Director CEO Technical Engineering DIV. CHUNGSUK ENGINEERING CO., LTD.

⁴⁾ (주)도화종합기술공사 도로부 구조담당 이사, Road Dept. Structural Eng. Director DOHWA CONSULTING ENGINEERS CO., LTD.

SYNOPSIS : The connection system of steel pile and RC footing is an important structure, because the total load of upper construction should be transferred through this joint construction of different two materials-steel and RC-with strongly changed section area. Although many connection systems have been developed, their structural and economical efficiency and workability are often insufficient. Therefore, a new connecting system was developed to improve the problems of current systems. The divided arc plate could improve the workability and economical efficiency, structural efficiency could be reached by welding construction. The main purpose of the research is to evaluate the structural behavior of the new designed connection system through experiments and numerical analysis.

Key words : Steel pile, Head connection system, FEM-Analysis

1. 서론

1.1 연구의 배경

파일의 기능은 구조물의 모든 하중을 지반에 안전하게 전달함에 있다. 특히 콘크리트 확대 기초와 파일 두부 결합부는 매우 중요한 구조연결부로서 상부 구조물에 작용하는 하중이 파일 본체를 경유하여 지반에 전달되는 역할을 수행하는 중요한 부분이다. 또한 강관 파일 두부는 서로 다른 재료로 이루어진 확대 기초와 강관 파일이 만나는 곳이므로 파일 기초 중 가장 취약한 부분이 될 수 있다. 또한 근래에 건설장비의 발달로 현장치기 파일 등에서 사용하는 직경 80cm 정도 이상의 대구경 강관 파일의 시공이 가능하게 됨에 따라 강관 파일 1본이 받는 하중이 커지고, 지진하중과 같은 특수한 하중에 대한 설계가 강조되어 파일 기초의 안전을 새롭게 검토할 필요가 생겼다.⁴⁾ 따라서 일반적인 철근 콘크리트 설계 기준에서 다루는 한계를 벗어난, 불규칙하면서도 큰 응력이 발생하는 강관 파일 두부의 결합부 거동에 대한 관심이 커지고 있다. 한편 강관 파일 두부 결합부의 시공성을 개선하기 위하여 여러 가지 결합 방법이 제안되고 있으나, 여러 경우에 있어 심각한 구조적 문제점을 보유하고 있음에도, 면밀한 구조적 검토가 결여된 채 저렴한 시공가로 인하여 시공되고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 두부 결합부에 대한 신공법이 개발되고, 이에 대한 실험적 연구도 진행되고 있다.

1.2 연구의 목적

본 연구에서는 종래의 강관 말뚝 두부 결합 시스템의 문제점들을 파악하고 보다 경제적이고 동시에 합리적인 시스템을 개발하고자 한다. 이에 현장에서의 시공성과 경제성을 고려함과 동시에 구조물 상부에서 하부 기초, 지반으로 하중을 명료하게 전달할 수 있도록 하여 구조적으로 합리적인 강관 말뚝 두부 결합 시스템을 고안하고, 실험을 통해 극한 내하력을 평가하고 결합부 각 부재들의 구조적 거동을 파악하는데 본 연구의 목적이 있다.

1.3 강관말뚝 두부 보강법의 개요

일반적으로 말뚝 두부의 결합 방법은 강결합과 힌지 결합으로 분류되고, 결합의 선택은 구조물의 형식과 기능, 확대기초의 형태와 치수, 말뚝의 종류, 지반 조건, 시공성을 고려하여 결정된다.⁶⁾ 그러나, 강구조 설계기준⁵⁾에서는 말뚝과 기초의 결합부 설계는 일반적으로 강결합으로 설계하며, 결합부에 발생하는 응력에 대해 안전하게 설계하도록 규정하고 있다. 따라서 본 연구에서도 강결합 시스템의 개발에 초점을 맞추었다. 강결합 방법은 크게 방법 A와 방법 B로 구분되며²⁾, 방법 A는 확대기초속에 파일을 일정한 길이만큼 매입시켜, 매입된 부분이 말뚝 두부에 작용하는 휨 모멘트를 저항하는 방법이고, 방법 B는 확대기초 속으로 매입되는 말뚝의 길이를 최소한으로 하고 철근으로 보강하여 휨모멘트에 저항하는 방법이다. 그러나 일본과 한국에서 몇 차례의 설계 기준의 변경을 거치며 방법B의 연결방법을 보편적으로 적용하고 있는데, 이는 근입된 강관 파일로 인해 확대기초의 하부 주철근 배근이 복잡하게 되어 시공에 어려움이 있기 때문이다.

표 1. 강결합의 특징^{1), 3)}

구분	강결합의 특징
수평 변위	수평 변위량이 힌지 결합의 약 50%로 작음
휨 모멘트	파일 두부에서 힌지 결합의 약 1.55배 최대 휨 모멘트 발생
구조 특성	힌지 결합에 비해서 부정정 차수가 큼으로 내진측면에서 우위

2. 분할 원호판을 이용한 두부 보강 방법의 설계

2.1 기존 결합 방법

주로 사용되는 기존의 말뚝 두부 결합 방법은 크게 강관 내에 미끄럼 방지턱을 볼트 또는 용접결합하고 콘크리트를 70cm~100cm 깊이로 충전하는 콘크리트 속채움 방법과 콘크리트의 속채움 없이 강관의 상단부에 덮개판을 볼트 혹은 용접 결합하는 덮개판 방식 그리고 속채움과 덮개판을 조합하는 합성형 방법으로 분류할 수 있다. 일반적으로 시공 속도로 인한 경제성 측면에서 용접보다는 볼트에 의한 결합 방법이 선호되어 오고 있는 실정이다.

미끄럼 방지턱을 이용한 볼트식 속채움 공법은 품질관리가 우수하다는 장점은 있으나, 시편이 많아 시공속도가 느리고, 현장에서 자재 관리가 어려우며, 깊은 속채움으로 인한 토사량이 많은 단점이 있다. 볼트식 덮개판 공법은 품질관리와 시공이 빠르고 정확한 장점이 있으나, 원자재의 비중이 높아 원가 상승의 우려가 있으며, 자재 중량의 과다로 인해 현장 시공의 어려움이 있다. 합성형 속채움 공법은 시공적, 경제적으로는 우수하지만 주물제품으로서 품질 관리의 검사가 곤란하고, 주물 형틀에 따라 제품의 균질성확보가 어려우며, 주물의 외부 충격에 의한 손상이 쉽게 발생하는 문제점이 있다. 두부에 전달되는 하중의 증가로 인하여 기존의 볼트식 결합방법은 구조적 측면에서 한계성이 있으므로 점차적으로 용접식 방법을 선호하는 추세로 전환 되어가고 있다.

2.2 분할 원호판을 이용한 두부 보강 시스템의 제원

그림 1은 본 연구에서 고안한 4분할된 Ring Plate (분할 원호판)을 이용한 두부 보강시스템의 제원을 보여준다. 단부(F)가 냉간 압연에 의해 나사 가공된 수직 보강철근(C)을 분할 원호판(B)에 관통시키고 얇은 속채움 하단부의 격판(G)에 나사 결합한다. 원호판은 강관의 상단부에 필렛 하향 용접하고, 콘크리트의 얇은 속채움(10cm)은 인발하중 작용 시 수직 보강철근을 통하여 전달되는 집중하중을 원호판에 분산시킴으로 원호판 내에 응력집중을 피하고 동시에 수평력에 대한 강관의 강성을 보강하는 역할을 담당한다. 기존 볼트식 시스템의 구조적 취약점을 자동 용접 접합으로 보완하는 동시에 구조의 최적화를 통한 자체절감으로 경제성과 시공성을 확보하고 있다.

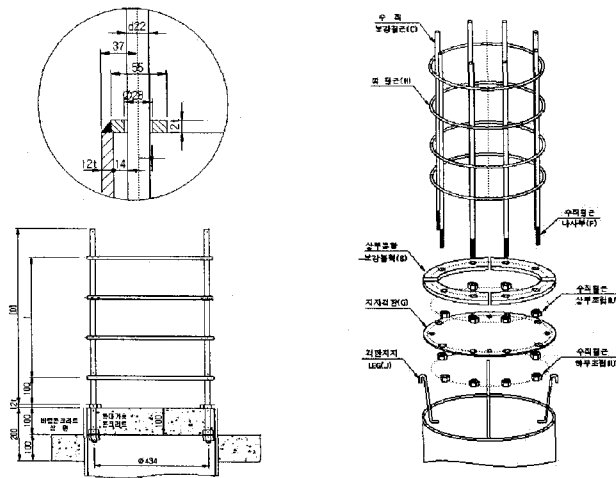


그림 1. 분할 원호판을 이용한 두부 보강 시스템

2.3 하중 전달 메커니즘

상부구조로부터 기초에 전달되는 압입력은 강관과 용접 결합된 원호판을 통해 강관 말뚝 본체에 전달된다. 인발력은 보강철근, 속채움 하단의 나사 결합부, 얇은 속채움의 콘크리트 순으로 원호판에 전달되며, 용접부에 의해 강관 말뚝본체를 통하여 경질 지반에 전달된다. 모멘트 하중은 인장 부분과 압축 부분에서 각각 인발력과 압입력의 하중 전달 메커니즘을 따른다.

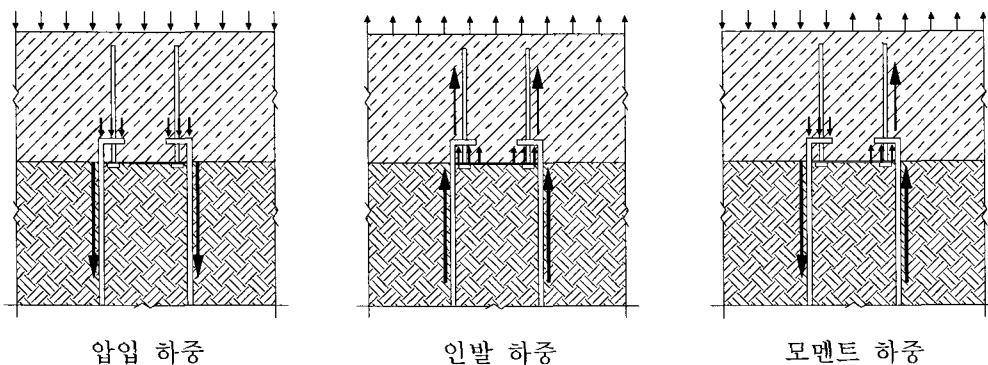


그림 2. 하중 전달 메커니즘

3. 재료 실험

3.1 재료 실험 개요

실험에 사용된 강재 및 용접부의 물성을 파악하기 위하여 다음의 인장 실험을 실시하였다. 강재는 SS400강을, 용접은 고장력 아크 용접(LC-300)과 CO2 용접, 일반아크 용접이 적용된 각각 2개의 시편에 대하여 실험하였다. 그림 3은 용접부위 측정 시험편 KS 1호를 나타내고 있으며 강재 실험에서도 동일한 시험편을 제작하여 실험을 수행하였다.

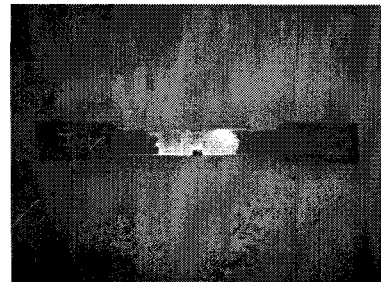
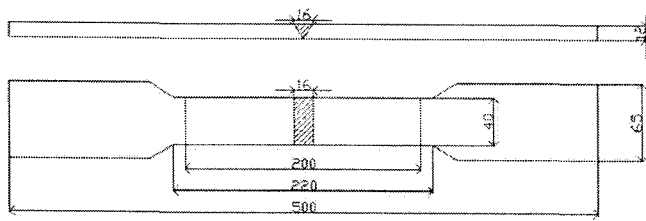


그림 3. KS 1호 용접시험편

3.2 재료 실험 결과

그림 4는 재료 실험을 통해 측정된 강재와 용접의 응력 변형률 곡선을 나타내고 있으며 표 2는 각 부재의 항복 및 파괴응력과 탄성계수를 나타낸 것이다.

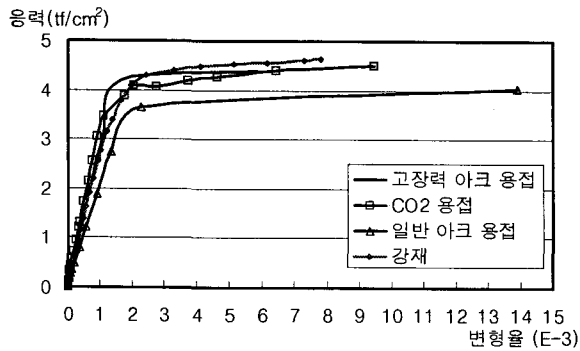
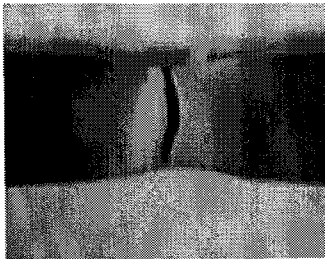


그림 4. 용접과 강재의 응력 변형률 곡선

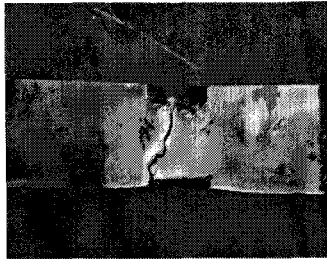
표 2. 용접과 강재의 물성 (MPa)

실험	항복응력	파괴응력	탄성계수
강 재	400	540	2.00×10^5
고 장 력 아크용접	420	540	2.86×10^5
CO2용접	420	530	2.04×10^5
일 반 아크용접	365	490	1.83×10^5

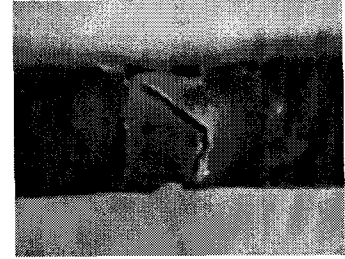
표 2에서 나타나듯이 항복응력 및 파괴응력은 고장력 아크 용접과 CO2용접이 강재의 경우와 유사하게 측정되었으나 일반 아크 용접은 강재 보다 작은 내력을 나타내고 있다. 따라서 강관과 원호 판은 고장력 아크 용접 또는 CO2용접에 의하여 결합되는 것이 타당하다. 하지만 일반 아크 용접도 강구조 설계기준에 제시되어 있는 강재의 허용 응력 이상의 응력값을 보유하고 있다. 그림 5는 각 부재의 파괴 모드를 나타내고 있다.



강재 SS400



고장력 아크 용접(LC-300)



CO2 용접

그림 5. 각 시편의 파괴 모드

4. 실험을 통한 구조적 안전성 평가

4.1 구조실험 개요

앞서 기술한 분할 원호판을 이용한 두부 보강 시스템의 구조적 안전성과 극한 하중 상태에서의 파괴 모드를 평가하기 위하여 압입, 인발, 모멘트에 대한 실험을 수행하였다.

실험 장비는 압입과 인발에 100MN UTM을 사용하여 가력 하였다. 압입의 재하한도는 80MN이며, 인발은 40MN이다. 모멘트 실험은 10MN Actuator를 사용하여 가력 하였으며, 각 부재의 변위와 변형률을 측정하여 구조물의 거동을 분석하였다.

4.2 실험체 제원 및 실험체 상세도

표 3과 그림 6은 각 실험체의 제원과 실험체의 상세를 보여준다. 강관과 원호판은 일반 구조용 용접 강 SS400강을 사용하였다. 강관과 원호판은 고장력 용접봉(LC-300)을 사용하여 하향 필렛 용접하였으며, 철근 HD40을 이용하여 배근하였다. 각각의 하중종류에 대하여 두 개의 실험체에 대한 재하 실험을 수행하였고, 결과를 비교 분석하였다.

표 3. 실험체 제원

실험 부재		강관 (mm)	원호판 (mm)	보강철근	용접사양	기초콘크리트 (mm)	콘크리트 강도 (MPa)
압입	WP-1/2	SS400 508 t=12	SS400 두께:12 폭:55	HD40 D22*8ea	LC-300 필렛 용접 목두께:7mm	900×900×1000	24
인발	WT-1/2					-	-
모멘트	WM-1/2					750×1350×1000	24

4.3 실험 결과

4.3.1 항복하중의 산정

본 연구에서 고안한 두부보강 시스템의 항복하중의 산정방법의 산정에 있어, 일반적으로 사용되는 원점에서 극한하중의 75%점을 통과하는 할선을 사용하는 Park Method를 사용할 수 있으나 본 실험에서의 적용 시 과도한 항복하중을 나타냄으로 이 방법은 본 실험체에의 적용이 합리적이지 못

하다고 판단된다. 이것은 아래의 실험 결과에서 보듯이 실험체의 최종 파괴가 본 연구의 관심인 두부 결합부가 아닌 기초 콘크리트와 수직보강 철근에서 발생함에 기인한다. 따라서 본 연구에서는 각 부재 즉, 원호판과 용접목 그리고 강관의 변형률에 의해 항복하중을 구하였고, 하중-변위(P-δ) 곡선에서 최대하중의 75%값과 비교하였다. 부재 항복 변형률은 앞의 재료실험을 통해 산출된 항복 변형률 0.20%에 해당하는 총 변형률 0.38%에 대하여 산정하였다.

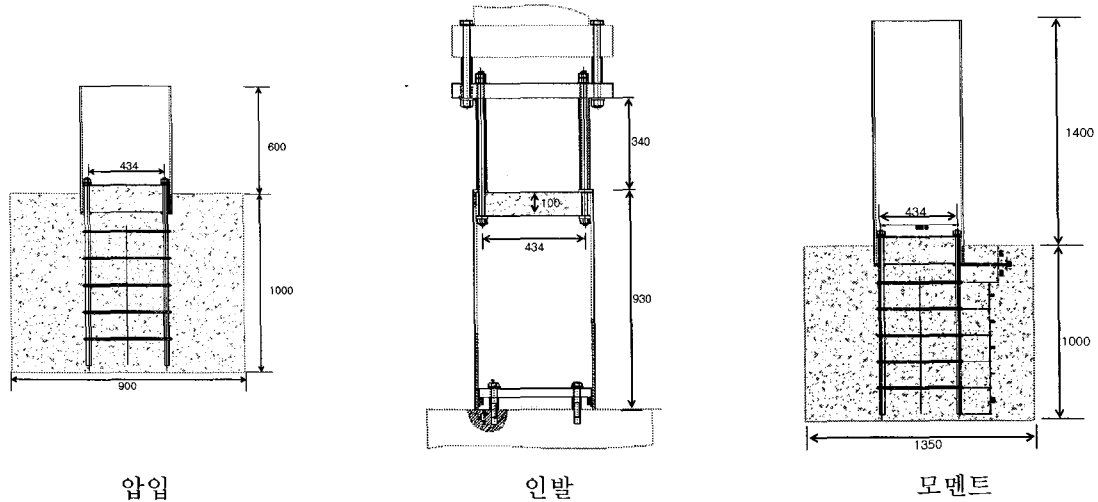


그림 6. 실험체 상세도

4.3.2 압입실험

그림 7은 압입실험의 P-δ곡선을 나타낸 것이다. 두개의 실험체(WP-1, WP-2) 경우 모두 약320tf에서 기초 콘크리트의 측면 한 모서리 상단부에서 연직방향으로 초기 균열이 발생하기 시작하였으며, 하중이 증가함에 따라 다른 모서리 부근에서도 유사한 형태로 균열이 발생하였다. 각각 5.21MN와 5.24MN에서 연직방향으로 진행하던 균열이 수평방향으로 진행방향을 변화한 뒤 기초 콘크리트 측면이 분리되면서(그림 9) 실험이 종료되었다. 그림 8은 실험체 WP-1의 강관, 용접부 및 원호판의 하중-변형률 관계를 나타내고 있다. 용접목의 Strain Gauges 측정값은 하중 3.40MN에서 변형률 0.85%를 기록한 후 게이지 손상으로 측정이 중단되었고, 강관과 원호판은 최대 하중에서 강재의 항복 변형률에 도달하지 않았다. 그림 9는 실험 종료 후 두부 결합부 주위의 콘크리트를 해체한 사진으로 강관-용접 결합부에는 강관의 좌굴현상이 나타났으나 용접 결합부의 파괴는 관찰되지 않았다.

그림 7에 나타난 압입 실험체의 P-δ관계에서 극한하중의 75%는 3.90MN로 계산된다. 그림 4의 원호판과 용접부, 강관의 변형율의 비교 시 변형률이 가장 큰 용접부의 총 변형률 0.38%에서 하중 2.640MN를 압입 항복하중으로 산정하였다.

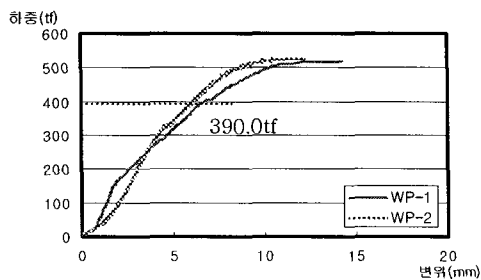


그림 7. 압입실험의 P-δ 곡선

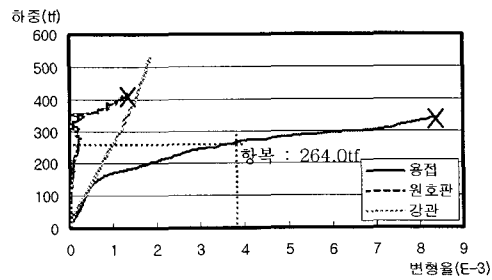


그림 8. 압입실험의 P-ε 곡선(WP-1)

항복하중의 60%인 허용압입하중은 P-ε관계로부터 1.584MN로 계산되나, 폭 55mm의 원호판과 콘크리트의 접촉면에서 발생하는 이론상의 허용지압하중은 압축강도 24MPa 콘크리트 경우 용접부에 의한 하중보다 낮은 1.085MN이다. 따라서 압입하중상태에서 시스템의 허용하중은 콘크리트의 허용지압하중이 지배한다. 그러나 허용하중 108.5tf이상의 압입하중 작용 시 원호판 폭의 증가를 통하여 허용하중을 증가시킬 수 있다.

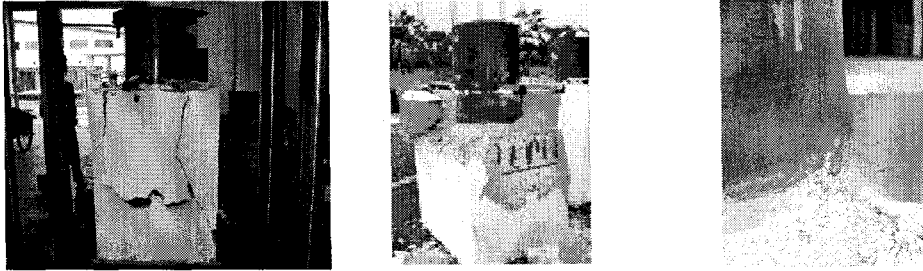


그림 9. 압입 실험체의 파괴 모드

4.3.3 인발실험

그림 10과 그림 11은 인발 실험의 P-δ곡선과 P-ε곡선을 나타낸 것이다. 두 개의 실험체(WT-1, WT-2) 경우 모두 2.10MN와 1.88MN에서 보강 철근(8D22)의 인장파괴로 실험이 종료되었다. 파괴가 나사 가공부가 아닌 보강 철근의 중앙부에서 인장 파괴(그림 12)가 발생한 것은 보강철근의 냉간 압연에 의한 나사 가공이 강도 저하를 유발시키지 않음을 나타내고 있다. 그림 7은 WT-1의 철근, 원호판 및 용접부의 하중-변형률 곡선을 나타내고 있다. 용접부의 Strain Gauges 측정값이 2.10MN에서 1.3%를 기록하였으나, 그림 8에서 보듯이 결합부에 유관으로 관찰될 수 있는 과도한 변형은 발생하지 않았다. 시스템의 파괴가 보강철근에서 발생하였으므로 용접에 의한 두부 결합부의 내력이 보강 철근(8D22)의 내력보다 우수한 것으로 판단된다.

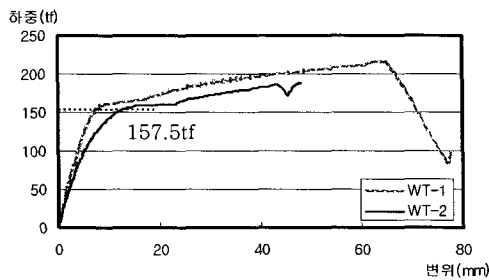


그림 10. 인발실험의 P-δ 곡선

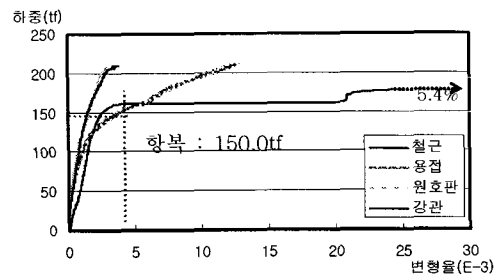


그림 11. 인발실험의 P-ε 곡선(WT-1)

그림 10에 나타난 인발 실험체의 P-δ관계에서 극한하중의 75%에 해당하는 하중은 1.58MN이며, 그림 11의 철근, 원호판 및 용접부의 변형률을 비교 시 변형률이 가장 큰 용접부의 총 변형률 0.38%에서 항복하중 1.50MN를 기록하였다. 따라서 인발하중에 대한 시스템의 항복하중은 1.50MN이다.

항복하중의 60%인 허용인발하중은 P-ε관계로부터 0.90MN로 계산되나, 압입실험과 마찬가지로 원호판과 콘크리트 얇은 속채움 접촉면에서 발생하는 이론상의 콘크리트 허용지압하중은 콘크리트 압축강도 24MPa에 대하여 0.86MN으로 계산된다. 따라서 인발의 경우도 압입이 경우와 같이 콘크리트의 허용지압하중이 시스템의 허용하중을 지배하며 원호판 폭의 증가를 고려할 수 있다.

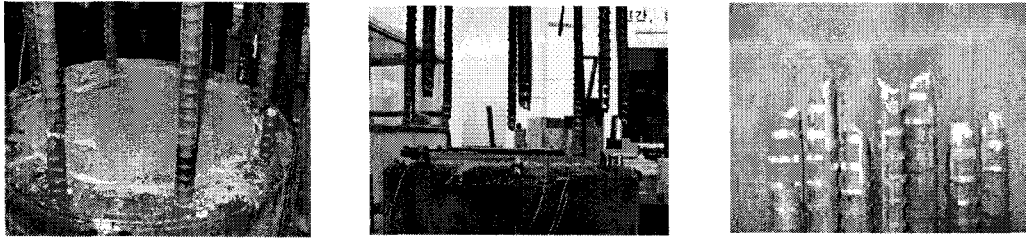


그림 12. 인발 실험체의 파괴 모드

4.3.4 모멘트 실험

그림 13과 그림 14는 모멘트 실험의 모멘트-처짐각($M-\theta$)곡선과 모멘트-변형률($M-\epsilon$)곡선을 나타낸 것이다. 두 개의 실험체(WM-1, WM-2)의 최종 파괴는 기초 콘크리트의 파괴(그림 15)로 나타났다. 재하 모멘트 0.251MN·m에서 콘크리트의 인장측 초기 균열이 발생하기 시작하여, 그림 15에서 보듯이 균열의 방향이 인장측에서 압축측으로 횡방향과 대각선방향으로 동시에 발생하였다. 그리고 인장측에 종방향 균열의 폭 및 수의 증가에 의해 실험이 종료되었다. 실험 종료 시 인장측의 과도한 변위와 균열 형상으로 볼 때 철근과 콘크리트의 부착파괴에 의한 시스템 파괴로 판단된다. 그림 14는 WM-1의 철근, 원호관, 강관 및 용접부의 하중-변형률 관계를 나타내고 있다. 강관과 원호관의 변형률은 극한 모멘트에서도 0.20%미만이며, 철근과 용접부의 변형률은 극한 모멘트에서 각각 2%와 0.42%의 변형률을 기록하였다.

그림 13에 나타난 모멘트 실험체의 $M-\theta$ 관계에서 극한 모멘트의 75%는 0.357MN·m이며, 그림 14에서 철근, 원호관, 강관 및 용접의 변형률 비교 시 용접부가 가장 먼저 변형률 0.38%에 도달하였고, 이때 모멘트는 0.460MN·m를 기록하였다. 따라서 본 시스템은 용접부의 변형률을 고려한 0.460MN·m의 항복 모멘트와 항복모멘트의 60%인 0.276MN·m의 허용 모멘트에 대한 내력을 보유하고 있다.

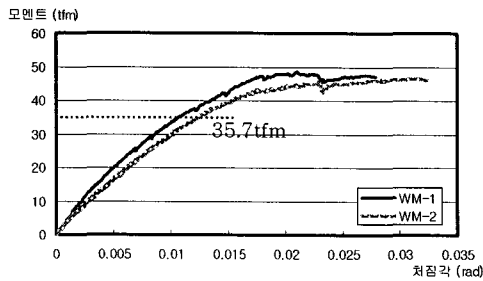


그림 13. 모멘트실험의 $M-\theta$ 곡선

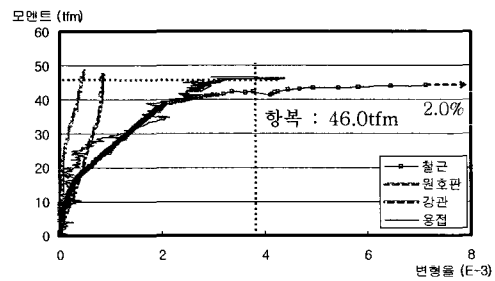


그림 14. 모멘트실험의 $M-\epsilon$ 곡선(WM-1)

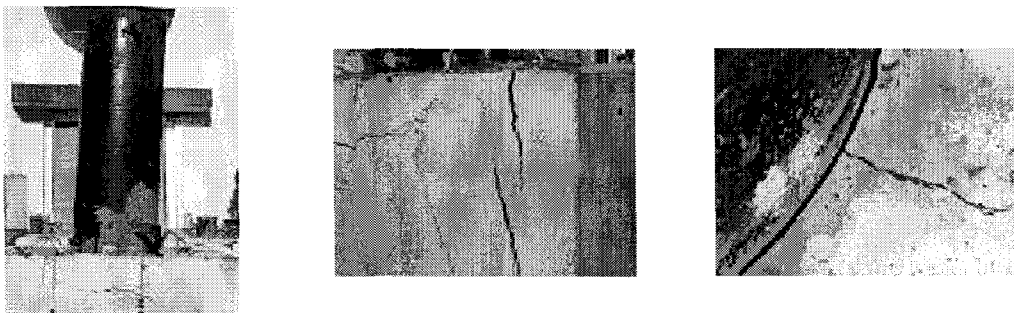


그림 15. 모멘트실험의 파괴모드

5. 유한요소해석

5.1 해석개요

4장에서는 본 연구에서 고안한 새로운 강관파일 두부보강 시스템의 구조적 거동을 파악하기 위하여 수행된 실험과 그로부터 얻은 데이터를 분석하였다. 실험에서 얻은 자료는 제한되어 있으므로 본 장에서는 전산해석을 통하여 4장에서 분석한 실험체를 압입력 10MN, 인발력 5MN에 대하여 해석함으로써 실험범위에서의 두부보강 시스템의 거동을 파악하고자 한다.

유한요소해석은 ANSYS 8.0을 사용하였으며 해석 모델링의 특징은 다음과 같다.

- 절점수가 가장 많은 20 절점 Solid 186 요소 사용하였고 압입, 인발 하중에 대하여 사용된 요소 수는 각각 142274개, 32794개 이며 이때 자유도 수는 각각 571300개와 136209개
- 콘크리트와 강재 접촉면에 Contact 174 요소와 Target 170 요소를 적용함으로써 콘크리트와 강재의 접촉 발생 시 접촉면에 대하여 수직방향으로 응력전달을 가능케 하는 한편 접촉면 내의 Slip 허용을 허용함으로써 콘크리트와 강재의 부착을 고려하지 않음
- 철근과 콘크리트의 부착은 강접합으로 모델링
- 해석에 사용된 재료의 물성치는 표 4와 같다.

표 4. 해석 물성치

재 료	탄성계수(N/m^2)	포아송 비 ν
콘크리트	2.41×10^{10}	0.167
강 재	2.10×10^{11}	0.3

5.2 해석결과

해석을 통해 얻은 결과를 다음과 같이 종합하였다.

- 원호판은 분할됨에도 불구하고 분할되지 않은 Ring Plate와 유사한 축대칭 거동 확인
- 압입 및 인발 하중 작용 시 강관 및 원호판의 균등한 응력분포 확보
- 인발 시 속채움 콘크리트를 통해 원호판에 전달되는 하중의 분산효과 확보
- 표5는 실험과 해석에서 얻은 변형율을 비교하고 있다.

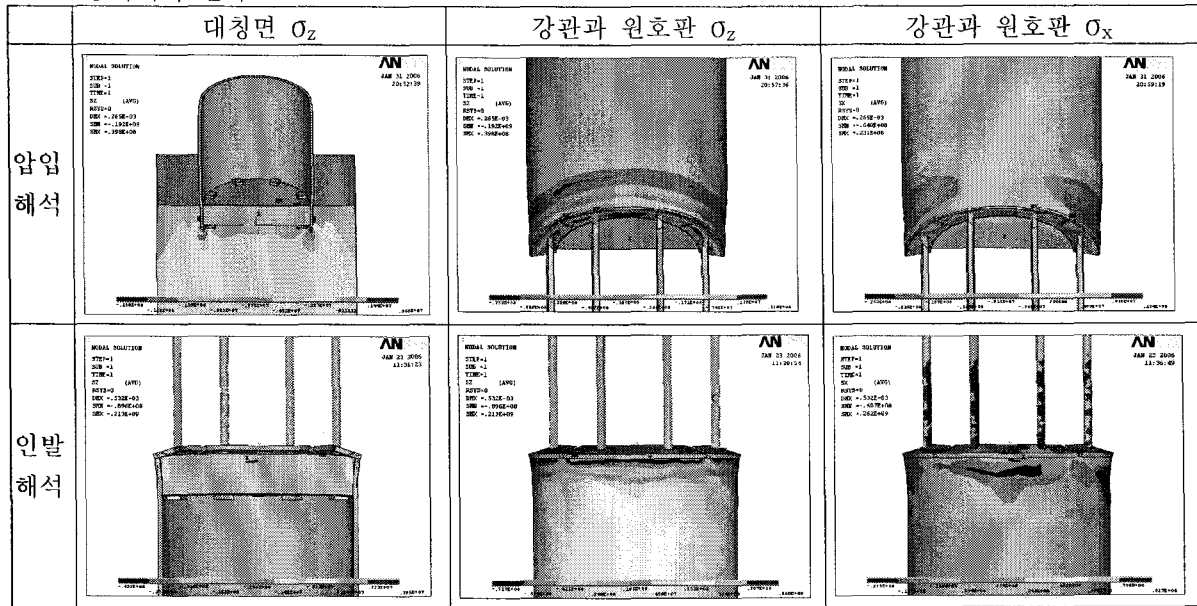
표 5. 실험과 해석의 변형율 비교($\times 10^{-3}$)

	인발		압입		측정위치
	실험	해석	실험	해석	
강관	0.336	0.160	0.174	0.142	원호판중앙 용접부위, 축방향
원호판	0.208	0.015	0.100	0.145	원호판 중앙, 원주방향

6. 결론

본 연구에서는 종래의 강관 말뚝 두부 결합 시스템의 문제점들을 파악하여 이에 대한 합리적이고 경제적인 시스템을 개발하였다. 시공성과 경제성을 고려함과 동시에 구조적으로 합리적인 시스템인 분할 원호판을 이용한 두부 보강시스템을 고안하였다. 또한 본 연구에서 고안한 시스템의 압입, 인발, 모멘트 실험을 통하여 내하력을 평가하였고, 전산해석을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

표 5. 응력해석 결과



- 1) 압입 실험은 극한 하중의 파괴 모드가 기초 콘크리트에서 발생되었으며, 강관 두부 결합부의 파괴는 발생되지 않았다.
- 2) 인발 실험에서 수직보강철근의 중앙부 인장파괴는 보강철근의 냉간 압연 나사 가공에 의한 강도 저하가 없음을 보여줌과 동시에 두부 결합부의 내력이 실험시 사용된 보강철근(D22*8ea)의 내력보다 우수하다는 결과를 얻었다.
- 3) 모멘트 실험 시 인장 측의 과다 변형과 균열의 형상으로 볼 때 보강철근과 콘크리트의 부착 파괴가 모멘트에 대한 시스템의 내하력을 지배하는 것으로 판단된다.
- 4) 모든 실험에서 용접부 및 원호판은 극한 하중에서 파괴되지 않아 결합부 시스템의 내하력이 충분하다고 판단된다.
- 5) 유한요소해석을 통해 원호판이 분할됨에도 불구하고 분할되지 않은 Ring Plate와 유사한 축대칭 거동 확인하였으며 압입 및 인발 하중 작용 시 강관 및 원호판의 균등한 응력분포를 확인하였다.
- 6) 본 연구에서 고안한 분할 원호판을 이용한 강관 두부 결합부 시스템은 구조적으로 충분한 내하력을 보유하고 있고, 경제성과 시공성, 품질 관리 측면에서도 우수한 시스템으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음 (R11-2005-056-04004-0)

참고 문헌

1. 김영석, 김영호, 박종면, 김상섭, 김규석 (2002), “길림턱을 이용한 강관말뚝 머리 결합부의 구조특성에 관한 실험적 연구” 대한건축학회논문집, pp. 19~22
2. 대한 토목 학회, 도로교설계기준 해설(하부 구조편)(2002), pp. 287~300
3. 동아대학교 기술연구소(2002), “강관 말뚝 기초 결합부의 설계를 위한 실험 및 이론적 연구”
4. 스마트 엔지니어링(2001), “강재 결합구와 속채움 콘크리트를 이용한 강관 말뚝 두부 보강 방법”
5. 한국 강구조 공학회(2002), 강구조 설계기준
6. 한국 지반 공학회(2002), 깊은 기초