

# Type-B방식의 강관말뚝과 확대기초 연결부 상세에 따른 보유내력의 실험적 평가

## Experimental Evaluation of Reserve Capacities for Connection Details between Steel Pipe Pile and Concrete Footing of Type-B

한 상 훈\*                      홍 기 남\*\*                      권 용 길\*\*\*  
Han, Sang-Hoon              Hong, Ki-Nam                  Kwon, Yong-Kil

### Abstract

Generally, application of steel pipe pile as deep foundation member needs special requirement for the connection method between steel pipe pile and concrete footing. Even though two types of connection method are suggested in the Korea highway bridge code, type-B method is prevalent. In this study, vertical, lateral, and tension loading test are done for two types of type B connection to review stress concentration, formation and behavior of imaginary RC column in the footing. Welding type and hook type as the connection method are considered in this study. Test results show that welding type have the more reserve capacity than hook type and the specimens connected by the welding type behave as the imaginary RC column in the footing. However, the specimens connected by the hook type did not behave as the imaginary RC column in the footing but behave as the hinge.

### 요 지

일반적으로 깊은 기초에 강관파일을 사용하는 경우 강관파일과 확대기초 연결부에 대한 특별한 주의가 필요하다. 도로교시방서에서는 Type-A와 Type-B 2가지 타입의 연결방법을 제안하고 있지만, Type-B가 주로 사용되고 있다. 본 연구에서는 Type-B 형식의 2가지 연결방법에 대한 응력집중, 가상 철근콘크리트 기둥의 형성 및 거동을 평가하고자 압축, 수평, 인장실험을 실시하였다. 본 연구에서 고려된 연결방법은 훅형과 용접형이다. 실험결과를 통해서 용접형 연결방법은 훅형보다 큰 보유내력을 나타내었으며, 가상 콘크리트 기둥으로 연결부가 적절하게 거동하는 것으로 나타났다. 그러나 훅형 보강방법은 가상 콘크리트 기둥을 형성하지 못하고 힌지로서 거동하는 것으로 나타났다.

**Keywords :** Hook type, Imaginary RC column, Reserve capacity, Welding type

**핵심 용어 :** 훅형, 가상콘크리트 기둥, 보유내력, 용접형

\* 정희원, 충북대학교 토목공학과 교수, 공학박사

\*\* 정희원, 충북대학교, 토목공학과 전임강사, 공학박사

\*\*\* 정희원, 충북대학교, 건설기술연구소 전임연구원, 공학박사

E-mail : hong@chungbuk.ac.kr 010-4466-3478

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2008년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

말뚝과 확대기초의 결합부는 상부구조물에 작용하는 하중을 말뚝을 통하여 지반으로 전달하는 중요한 부분으로서 단면적이 급변하여 응력이 집중하기 때문에 구조상 취약한 부분이다. 그러나 결합부는 상부구조와 하부구조와의 경계영역에 있기 때문에 설계·시공·연구 등 모든 면에서 소홀히 한 부분이 많았고, 특히 국내에서는 지진 등에 의한 피해 사례가 없었다는 것으로 종래부터安心하게 설계된 경우가 적지 않았다.<sup>(1)(6)</sup>

최근 확대기초 연결부에 대한 중요성이 인식되면서 국내에서도 연결방법에 대한 연구가 수행되고 있다. 국내의 대표적 연구로 서울대학교 지진공학 연구센터<sup>(3)</sup>에서는 강관말뚝 합성형 두부보강방법이 확대기초로부터의 하중을 안전하고 정확하게 말뚝에 전달하는 기능을 수행할 수 있는지의 여부를 확인하고자 내하실험과 구조해석을 통하여 구조적 안전성을 검토하였다. 주봉철<sup>(5)</sup> 등은 U자형 절곡철근을 이용한 강관말뚝 머리보강 방법에 대한 구조적 안전성을 검토하여 U자형 절곡 철근을 이용한 보강방법이 탄성구간에서 높은 강성을 나타내며 극한 변위량이 크기 때문에 지진하중에 대한 내진능력이 우수하다고 발표하였다. 유성근 등<sup>(4)</sup>은 B타입의 구조거동을 파악하기 위한 연구를 수행하여 콘크리트 확대기초에 작용하는 하중을 강관으로 전달하기 위하여 사용되는 미끄럼 방지턱의 역할과 이러한 방지턱이 강관과 콘크리트의 합성거동에 미치는 영향을 확인하였다. 김영호<sup>(2)</sup>는 도로교 설계기준에서 제시하는 대표적인 강관 말뚝머리 연결부에 대한 결합방식인 B 방법과 볼트식 속채움 머리보강 방법에 대해 비교 실험을 실시하고, 강관내 걸림턱과 속채움 콘크리트에 의해 결합부의 구조적 성능 및 특성을 파악하고자 인발실험과 압밀 실험을 수행하였다. 실험결과를 토대로 김영호는 인발 및 압밀실험의 결과에서 미끄럼 방지턱을 현장 모살용접대신 고장력볼트로 접합하여 사용했을 경우에 대해 구조적 안전성을 파악하였다.

본 연구에서는 강관말뚝 두부보강 방법으로 새롭게 개발된 B타입 형태의 혹형 두부보강 방법의 성능을 평가하고자 2가지 종류의 두부보강 방법에 의해서 보

강된 말뚝기초 두부에 대한 압축하중 재하실험, 수평하중 재하실험, 직접인장 실험을 실시하고, 그 결과를 분석하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 개요

본 연구에서는 강관 말뚝 두부보강 방법으로 사용되고 있는 용접방법과 혹형방법의 성능평가를 위한 실험적 연구를 수행하였다. 실험은 강관 말뚝 두부 연결부에 작용하는 대표적 하중인 압축과 수평하중에 대한 정적 재하실험과 인장실험으로 구분하여 수행하였다.

압축하중은 강관말뚝이 부담하는 주된 하중이며, 수평력은 지진하중을 고려하여 설계할 때 필수적으로 검토하여야 한다. 또한, 강관 파일 두부연결부의 인장내력은 안전성 검토에 있어서 중요한 요인으로 고려되고 있다.

강관 말뚝 두부보강 성능평가 실험에서 고려된 실험변수는 Table 1과 같이 두부보강방법인 혹형과 용접형을 고려하였다. Table 1에 실험체 일람을 나타내었다.

### 2.2 사용재료

본 연구에서는 1종 포틀랜드시멘트와 25mm 이하의 굵은골재를 사용하여 실험체를 제작하였으며, 30 MPa를 목표강도로 설정하였다. 콘크리트 강도는  $\Phi 100 \times 200$  mm 크기의 원주형 공시체를 제작하여 수

Table 1 실험체 일람

실험체명	콘크리트 압축강도 (MPa)	보강방법	실험방법
A1	30	혹형	압축재하
A2	30	용접형	
P1	30	혹형	수평재하
P2	30	용접형	
S1	30	혹형	직접인장
S2	30	용접형	

Table 2 콘크리트 배합

목표강도 (MPa)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	s/a (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	S	G	FA	AD
30	12.0±2.5	4.5±2.5	44	46	147	358	797	925	63	2.53

\* W : 물, C : 시멘트, S : 모래, G : 자갈, FA : 프라이애쉬, AD : 혼화제

중양생한 후 재령 28일에서 측정된 압축강도를 기준으로 하였으며, 압축강도의 평균값은 34.1 MPa로 나타났다. 실험체 제작을 위해 사용된 콘크리트의 배합은 Table 2와 같다.

인장철근은 KS D 3504의 이형철근으로 SD 300을 사용하였다. 부풀림 보강철근은 D19를 사용하였으며, 횡방향 철근은 D13을 사용하였다. 철근의 역학적 특성은 Table 3과 같다.

Table 3 철근의 역학적 특성

철근	탄성계수 (MPa)	인장강도 (MPa)	항복강도 (MPa)	연신율 (%)
D13	$2.0 \times 10^5$	626.2	500.7	17.8
D19		732.1	476.2	16.3

## 2.3 실험체 제작

### 2.3.1 압축재하 실험체

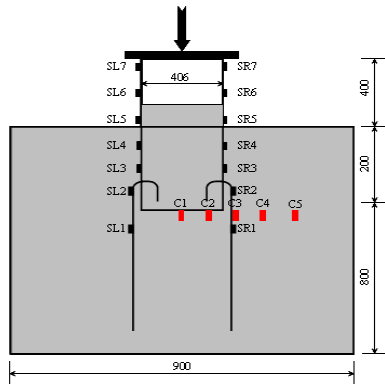
압축재하 실험체 제작에 사용된 강관은 지름 406 mm이며, 길이가 600 mm이다. 총 길이 600 mm 중에서 200 mm는 확대기초에 매입되도록 하였으며, 나머지 400 mm에 압축하중을 재하하는 것으로 하였다. 도로교 시방서에서는 확대기초 속으로 강관이 100 mm 정도 묻히는 것으로 규정되어 있으나 본 실험에서는 지반위에 타설되는 버팀 콘크리트를 고려하여 강관이 확대기초에 200 mm 정도 매입되는 것으로 하였다. 압축재하 실험체 중에서 혹형 실험체는 두부머리로부터 100 mm 떨어진 위치에 동일 간격으로 강관말뚝에 8개의 구멍을 낸 후, U자로 절곡된 부풀림 보강철근을 홈에 삽입하여 말뚝머리에 고정하였다. 용접형 실험체 역시 동일한 강관말뚝에 혹형 실험체와 같은 간격과 위치에 부풀림 철근을 용접하였다. 각 실험체의 두부 보강 방법을 Fig. 1(a)와 (b)에 나타내었다.

확대기초부는 실험변수에 관계없이 폭 900 mm, 높이 1000 mm의 크기로 동일하게 제작하였다. 철근 배근은 D22 철근을 100 mm 간격으로 균등하게 2단으로 배근하였다. 속채움 콘크리트는 혹형 두부보강 실험체의 경우 두부머리로부터 300 mm 깊이까지 타설하였으며, 용접형 두부보강 실험체는 덮개판이 존재하여 속채움을 할 수 없기 때문에 콘크리트를 타설하지 않았다.

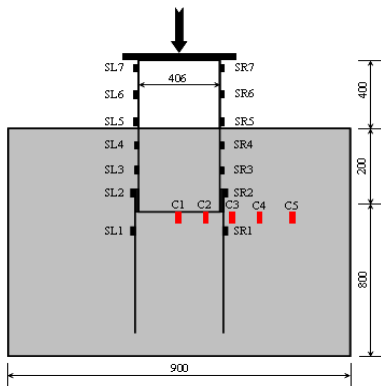
압축하중 재하시 철근과 강관의 압축거동을 분석하기 위하여 철근게이지를 확대기초 콘크리트에 매입되는 강관부와 부풀림 보강철근에 좌우 대칭으로 각각 4개씩 부착하였으며, 확대기초 콘크리트에 매입되지 않는 강관 부분에도 좌우대칭으로 각각 3개씩 부착하였다. 또한 하중 재하시 확대기초 콘크리트에 발생하는 변형률을 측정하기 위해서 실험실시 직전 확대기초 전면에 콘크리트게이지를 5개 부착하였다. 압축하중 실험체의 게이지 부착 위치를 각각 Fig. 1(a)와 (b)에 나타내었다.

### 2.3.2 수평재하 실험체

수평재하 실험체 제작에 사용된 강관의 길이는 1200 mm이며 두부보강 방법은 Fig. 1에 나타난 압축재하 실험체와 동일하다. 확대기초부는 실험변수에 관계없이 폭 1200 mm, 높이 1000 mm 크기로 동일하게 제작하였으며, 철근배근은 압축재하 실험체와 동일하게 D22 철근을 100 mm 등간격으로 2단 배근하였다. 수평하중 재하시 철근과 강관의 휨거동을 분석하기 위하여 철근게이지를 확대기초부에 묻히는 강관 부분에 좌우 대칭으로 각각 4개씩 매입하였으며, 확대기초에 매입되지 않는 부분에도 좌우대칭으로 각각 7개씩 부착하였다. 실험체 상세 및 게이지 부착 위치를 Fig. 2에 나타내었다.

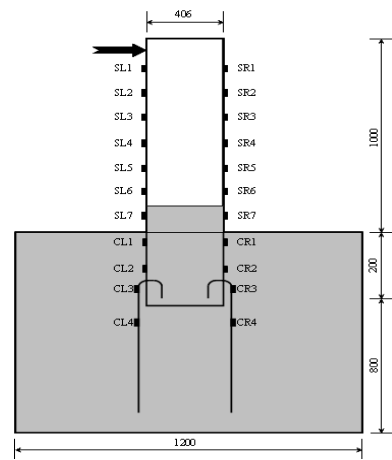


(a) A1 실험체

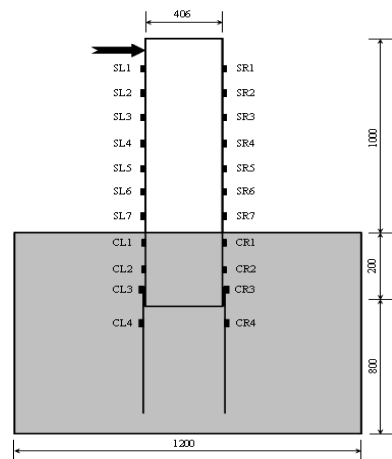


(b) A2 실험체

Fig. 1 압축재하 실험체 상세(unit: mm)



(a) P1 실험체



(b) P2 실험체

Fig. 2 수평재하 실험체 상세(unit: mm)

### 2.3.3 인장재하 실험체

인장재하 실험체도 압축재하 실험체나 수평재하 실험체와 동일하게 지름 406mm의 강관과 D19 이형철근을 부풀림 보강철근으로 사용하였다. 두부보강 방법도 혹형과 용접형으로 압축재하 실험체나 수평재하 실험체와 동일하게 보강하였다. 특히, 혹형 두부보강 실험체의 경우 현장에서는 속채움 콘크리트가 타설되기 때문에 동일한 조건으로 인장성능을 평가하기 위하여 인장 실험체 내의 강관에 콘크리트를 타설하여 시험중에 절곡된 철근이 피지면서 강성이 크게 저하되는 현상을 방지하였다. 강관 밑면에는 혹형 두부보강 실험체나 용접형 두부보강 실험체 모두에 덮개판을 용접으로 설치하였다. 부풀림 보강철근 상부에는 나사선을 도입하여 덮개판에 철근을 끼어 넣고 볼트를 체결하였다. 또한 상면과 하면 덮개판 중앙 위치에 55mm의 원형 구멍을

내고 2개의 볼트를 체결한 지름 50mm의 강봉을 넣어 인장시험기로부터의 인장력이 강봉을 통하여 8개의 부풀림 보강철근에 균등하게 작용되도록 하였다. Fig. 3에 인장실험체 상세를 나타내었다.



(a) S1 실험체

(b) S2 실험체

Fig. 3 직장인장 실험체 상세

## 2.4 하중재하 및 측정 방법

압축하중 재하는 5MN 용량의 UTM을 이용하여 실시하였다. 재하관 위쪽에 Load cell을 설치하여 부재에 작용하는 압축하중을 정확히 측정할 수 있도록 하였으며, 하중 재하 방법은 하중제어(Load control) 방식과 변위제어(Displacement control) 방식을 혼용하여 재하하였다. 실험체를 UTM 베드위에 설치하기 전에 지름 50mm의 강봉을 다이아몬드 형태로 설치하여 지지조건을 힌지로 설정하였다. 실험 중에는 철근게이지와 콘크리트게이지를 이용하여 철근과 확대기초 콘크리트의 변형률을 데이터 로거에 기록하였다. 또한 UTM 2개의 기둥에 LVDT를 설치하여 실험 중 압축실험체에 발생하는 변위를 측정하였다. 수평재하 실험체는 실험체를 고정하기 위하여 실험체 제작시 확대기초에 4개의 구멍을 내고 길이 2000mm의 강봉을 삽입하여 바닥판에 고정하였다. 하중 재하는 1MN 용량의 액츄레이터를 이용하여 단조 수평하중을 재하하였다. 또한 실험체 전면에 150mm LVDT 2개를 설치하여 하중 재하시 실험체에 발생하는 수평변위를 측정하였다. 부풀림 보강철근과 강관의 변형률도 철근게이지를 이용하여 측정하였다. 폭형 두부보강과 용접형 두부보강의 인장하중에 대한 성능을 평가하기 위한 인장재하 실험체는 3MN 용량의 철근 인장시험기를 이용하여 실험을 실시하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 파괴형상

#### 3.1.1 압축재하 실험

폭형으로 두부보강된 실험체 A1의 경우 압축하중이 2,000kN을 넘으면서 지지점인 힌지부분에서부터 균열이 발생하기 시작하였다. 압축하중이 점점 증가하면서 균열이 상부로 성장하는 균열패턴을 나타내었다.

또한 기 발생한 균열의 폭이 점점 증가하면서 확대기초 4개의 측면에 유사한 균열형태를 나타내었다. 파괴하중 부근에 도달하면서 처짐이 급격하게 증가하면서 강관 부근으로 지지점 부근에서 시작한 균열이 성

장하는 양상을 나타내다가 최대하중 2,917kN에서 큰 파괴음을 동반하면서 지지점 부근의 확대기초 콘크리트가 파괴되어 실험이 종료되었다. 최종적인 A1 실험체의 파괴형상은 Fig. 4(a)에 나타내었다. 용접형으로 두부보강된 실험체 A2의 경우 압축하중이 2,200kN이 넘으면서 각 면의 중앙에서 균열이 발생하기 시작하였다. 압축하중이 증가하면서 균열이 상부로 성장하였다. 압축하중이 증가하여 4면에 발생한 균열이 강관에 도달한 이후에도 계속해서 하중이 유지되면서 압축변위가 크게 증가하였다. 압축하중이 3,264kN에 도달하였을 때 강관이 하면으로 빠지는 펀칭파괴가 발생하여 내력을 급격하게 상실하였다. 최종적인 A2실험체의 파괴형상은 Fig. 4(b)에 나타내었다.



(a) A1실험체



(b) A2실험체

Fig. 4 압축재하 실험체 최종파괴 형상

### 3.1.2 수평재하 실험

혹형으로 두부보강된 실험체 P1의 경우 수평하중이 210kN을 넘으면서 수평하중 재하방향의 측면에 균열이 발생하기 시작하였다. 이후 수평하중이 증가하면서 실험체에서 철근이 파단하는 소음이 연속적으로 발생하였다. 수평하중 증가와 함께 수평변위가 계속적으로 증가하면서 큰 폭음과 함께 확대기초 콘크리트가 갈라지면서 수평내력을 급격하게 상실하여 실험이 종료되었다. 실험이 종료된 이후 조사한 결과 균열이 완전히 확대기초를 수직방향으로 관통한 것으로 나타났다. 또한 강관과 부풀림 보강철근과의 연결부를 확인한 결과 90도로 절곡한 후크부분에서 모든 철근이 완전히 파단된 것으로 나타났다.

용접형으로 두부보강된 실험체 P2의 경우 수평하중

이 320kN이 되면서 수평하중 재하 방향의 측면에서 수직균열이 발생하기 시작하였다. P2실험체는 P1실험체와 다르게 수직균열 발생이후에도 부풀림 보강철근 연결부에서 철근이 파단되는 소음이 발생하지는 않았다. 하중이 최대하중 부근에 도달하면서 하중증가 속도가 급격하게 감소하면서 수평변위가 크게 증가하였다. 수평하중이 410kN에 도달하는 순간 매우 큰 파괴음을 내면서 확대기초 콘크리트가 갈라지는 파괴모드를 나타내었다. 실험종료후 실험체를 조사한 결과 수직균열이 확대기초 콘크리트를 완전히 관통한 것으로 나타났으며, 부풀림 철근 중에서 인장부에 위치한 철근이 모두 파단된 것으로 확인되었다. P1과 P2실험체의 파괴사진을 Fig. 5(a)와 (b)에 각각 나타내었다.



(a) P1실험체



(a) S1실험체



(b) P2실험체



(b) S2실험체

Fig. 5 수평재하 실험체 최종파괴 형상

Fig. 6 인장실험체 최종파괴 형상



### 3.1.3 인장재하 실험

혹형으로 두부보강된 실험체 S1의 경우 인장하중이 최대하중에 도달할 때까지 안정적으로 인장하중을 부담하였다. 인장하중이 780kN에 도달하면서 갑자기 4개의 부풀림 철근이 파단되면서 실험이 종료되었다. 용접형으로 두부보강된 실험체 S2도 S1과 동일하게 최대하중 920kN까지 거의 선형적으로 인장하중을 부담하다가 갑자기 부풀림 철근을 원형판에 고정시키기 위해서 사용된 2개의 부풀림 철근의 나선부분이 파단되면서 실험이 종료되었다. S1과 S2 실험체의 최종 파괴사진을 Fig. 6(a)와 (b)에 각각 나타내었다.

## 3.2 실험결과 분석

### 3.2.1 압축재하 실험

Fig. 7에 압축재하 실험체 A1과 A2의 하중-수직변위관계를 나타내었다. 혹형 두부보강 실험체 A1은 최대하중 2917kN에서 급격하게 하중이 감소하는 취성적인 거동을 나타내고 있다.

용접형 두부보강 실험체 A2의 경우에도 A1 실험체와 같이 3264kN 이후 급격하게 압축내력을 상실하였으나, A1 실험체와 비교해서 최대변위가 3배 이상 크게 나타나 매우 연성적인 파괴 거동을 하고 있음을 Fig. 7은 보이고 있다. 혹형 두부보강 실험체 A1과 용접형 두부보강 실험체 A2의 하중-수직변위관계를 나타낸 Fig. 7를 통해서 A2에 비해 A1 실험체가 매우 큰 압축강성을 가지고 있다는 것도 알 수 있다. 이는

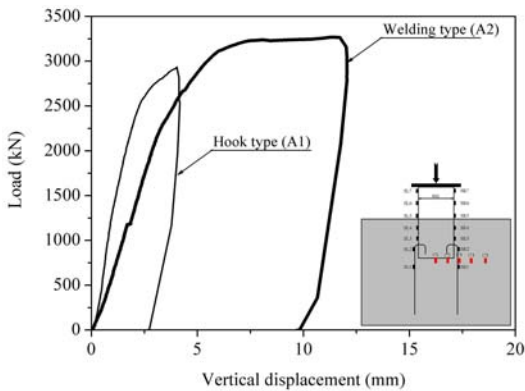
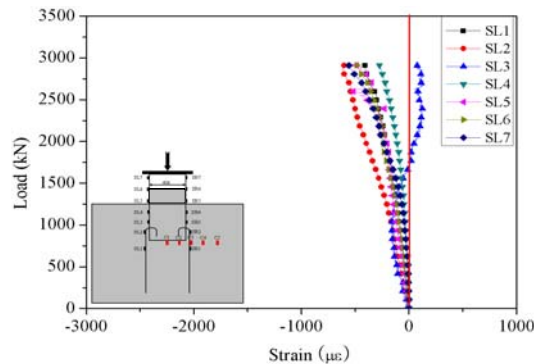


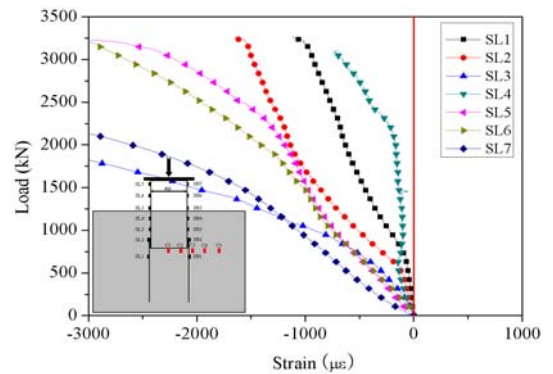
Fig. 7 압축재하 실험체의 하중-변위관계의 비교

혹형 두부보강 실험체에는 속채움 콘크리트가 있으나 용접형 두부보강 실험체에는 속채움 콘크리트가 없기 때문인 것으로 생각된다. 즉, 속채움 콘크리트가 있는 경우 강관파일 두부에서 강관의 좌굴이 방지되면서 압축변위가 크게 감소한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8(a)와 (b)에 각각 A1과 A2 실험체에 부착한 SL series 게이지로부터 측정된 하중-변형을 관계를 나타내었다. Fig. 8(a)는 순수 압축력이 작용함에도 불구하고 약간의 편심이 작용하여 SL3 게이지에 인장변형률이 발생하였음을 보이고 있으나 그 값이  $75\mu\epsilon$ 로 매우 미소하여 무시할 수 있는 수준인 것으로 판단되었다. 그리고 SL3 이외의 모든 게이지에서는 압축변형률이 발생하였으나 최대값이  $-610\mu\epsilon$ 일 정도로 매우 작게 나타나 압축하중이 부풀림 철근으로 적절하게 전달된다고 평가하기 어렵다. 한편 A2 실험체의 경우 강관의 변형률이 항복변형률 이상으로 매우



(a) A1 실험체



(b) A2 실험체

Fig. 8 압축재하 실험체의 SL 변형률분포 비교

크게 발생함을 Fig. 8(b)는 보이고 있으며, 부풀림 보강철근의 변형률도  $-1000\mu\epsilon$  이상으로 매우 크게 나타나 상부 압축하중이 두부연결부를 통해 부풀림 보강철근에 적절하게 전달됨을 알 수 있다. SR series 계이지로부터 측정된 결과도 SL series의 결과와 거의 동일한 경향을 나타내었다. 이상의 압축실험결과를 통해서 혹형 두부보강 방법보다 용접형 두부보강 방법이 더 큰 압축하중에 저항할 수 있는 능력을 보유하고 있으며, 파괴시 연성이 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

### 3.2.2 수평재하실험

수평재하실험을 통해서 얻어진 P1과 P2실험체의 하중-수평변위관계를 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9에 나타낸 수평변위는 강관의 상단으로부터 50mm 떨어진 지점의 변위를 나타낸다. 그림을 통해서 알 수 있듯이 P1과 P2실험체의 최대수평하중이 각각 309kN과 411kN으로 나타나 혹형 두부보강방법에 비해 용접형 두부보강방법이 약 33% 큰 수평내력을 보유하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 수평하중에 대한 휨강성이 P1실험체보다 P2실험체가 우수함을 알 수 있다. 최대수평하중 이후의 거동은 P1과 P2실험체 모두 급격하게 수평내력을 상실하였다.

Fig. 10(a)와 (b)에는 P1과 P2실험체의 인장부 확대기초 콘크리트에 매입된 강관과 부풀림 보강철근의 변형률 측정결과를 각각 나타내었다. 현재 도로교 시방서에서는 강관의 두부보강을 통해 강관과 부풀림 보강철근에 의한 구속콘크리트가 가상 철근콘크리트

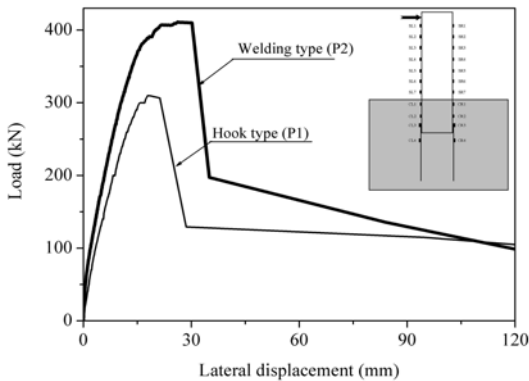
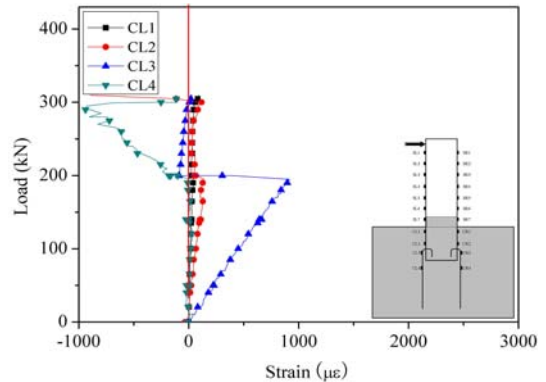
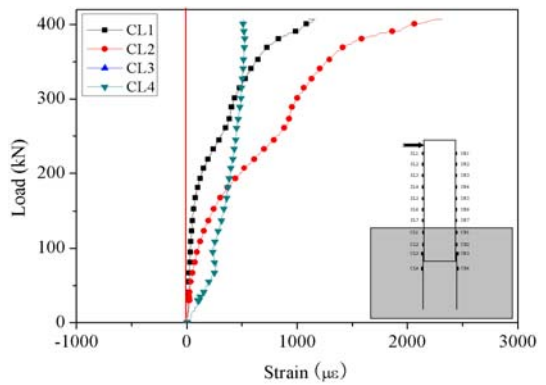


Fig. 9 수평재하 실험체의 하중-변위관계의 비교



(a) P1 실험체



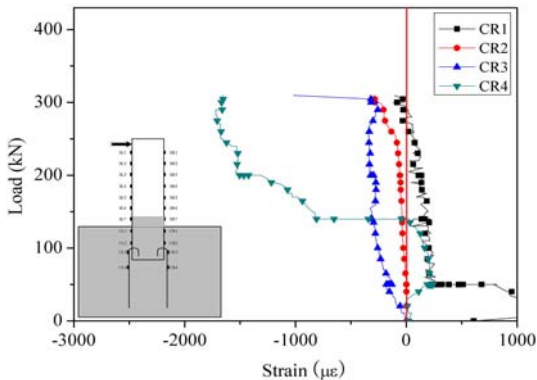
(b) P2 실험체

Fig. 10 수평재하 실험체의 CL 변형률분포 비교

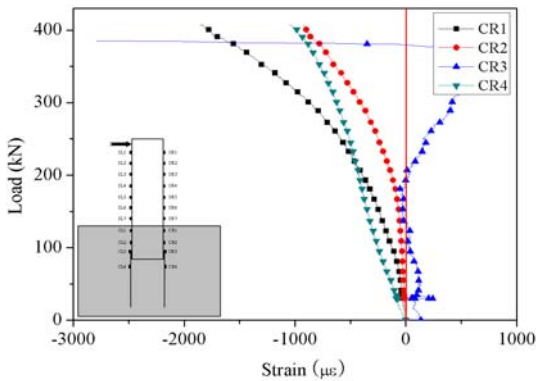
기등으로 거동하는 것으로 가정하고 있다. 그러나 Fig. 10(a)를 통해서 알 수 있듯이 혹형 두부보강의 경우 확대기초 콘크리트에 매입된 강관이나 철근이 일체형으로 거동하지 못하고 수평하중이 작용할 때 연결부의 철근이 서로 미끄러져 힌지로 거동이 하고 있음을 알 수 있다. 반면 용접형 두부보강 실험체의 경우 수평하중이 작용할 때 확대기초 콘크리트에 매입된 강관과 부풀림 보강철근이 일체로 적절하게 작용하여 강관과 부풀림 철근이 모두수평하중에 대해 저항하고 있음을 Fig. 10(b)는 보이고 있다.

Fig. 11(a)와 (b)에는 P1과 P2실험체의 압축부 확대기초 콘크리트에 매입된 강관과 두부보강 부풀림 철근의 변형률 측정 결과를 각각 나타내었다. Fig. 11(a)에서 알 수 있듯이 혹형 두부보강방법은 수평하중에 대해 압축부에서도 부풀림 보강철근과 강관이 일체





(a) P1 실험체



(b) P2 실험체

Fig. 11 수평재하 실험체의 CR 변형률분포 비교

로 거동하지 못하고 있음을 보이고 있다. 반면 Fig. 11(b)에서 용접형 두부보강방법은 수평하중에 대해 압축부에서도 인장부와 마찬가지로 강관과 부풀림 보강철근이 일체로 적절하게 거동하고 있음을 보이고 있다.

### 3.2.3 인장실험

Fig. 12에는 S1과 S2실험체의 하중-인장변위 관계를 나타내었다. 혹형 두부보강 실험체 S1은 780kN에 인장철근이 절곡부분에서 철근이 파단 되었으며, 용접형 두부보강 실험체 S2는 920kN에서 실험이 종료되었다. 즉, 혹형 두부보강에 비해 용접형 두부보강이 약 140kN정도 큰 인장강도를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 S1과 S2의 인장강성은 거의 동일한 값을 나타내어 철근 절곡으로 인한 인장강성의 저하는 없는 것으로 확인되었다.

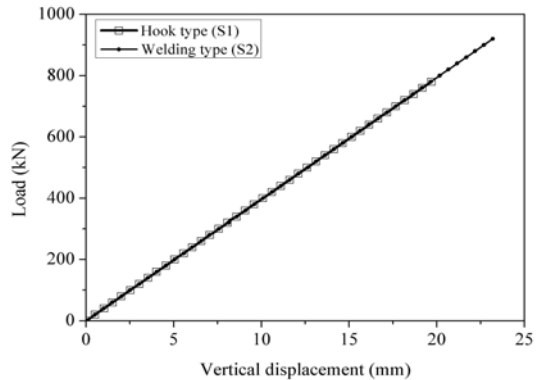


Fig. 12 인장실험체의 하중-변위관계의 비교

## 4. 결론

본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 혹형 두부보강 실험체는 압축하중 2917kN에서 지지점 부근의 확대기초 콘크리트 파괴로 인해 실험체가 파괴되었으나, 용접형 두부보강 실험체는 최대하중이 3264kN으로 혹형에 비해 약 24%의 하중이 증가하였으며 강관이 하면으로 빠지는 펀칭파괴로 인해 급격하게 내력을 상실하였다.
- 2) 용접형 두부보강 실험체는 혹형 두부보강 실험체에 비해 수평내력이 약 33%정도 우수하게 나타났다. 또한, 혹형 두부보강은 후크부분에서 일체로 거동하지 못하고 미끄러지는 반면에 용접형 두부보강 실험체는 강관과 부풀림 보강철근이 일체로 적절하게 거동하였다.
- 3) 혹형 두부보강 실험체는 780kN에 인장철근이 절곡부분에서 파단 되었으며, 용접형 두부보강 실험체는 인장력 920kN에서 나사선 부분이 파단되면서 실험이 종료되어 약 18% 인장내력이 증가하는 거동을 보였다. 그러나 인장강성은 두 실험체가 거의 동일한 값을 나타내어 철근 절곡으로 인한 인장강성의 저하는 없는 것으로 확인 되었다.
- 4) 혹형 두부보강에 비해 용접형 두부보강이 압축내력, 수평내력, 그리고 인장내력 모두에서 우수한 것으로 나타났다.

---

### 감사의 글

이 연구는 2006년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었음 (This work was supported by Chungbuk National University Grant in 2006).

### 참고문헌

1. 건설교통부, “도로교 설계기준”, 2000.
2. 김영호, “강관말뚝 머릿결합부의 미끄럼 방지턱에 관한 하중전달 메카니즘 연구”, 한국구조물진단학회, 제8권, 1호, 2004. 1, pp. 221-229.
3. 서울대학교 지진공학연구센터, “강관말뚝 합성형 두부 보강방법의 구조 안전성 검증”, 2001. 1.
4. 유성근, 박종면, 박대용, 김영호, 강원호, “강관 말뚝 기초 두부 연결부의 합성거동에 대한 연구”, 한국콘크리트학회논문집, 제15권, 2호, 2003. 4, pp. 288-296.
5. 주봉철, 김영진, 김병석, 박성용, 문근호, “U자형 철곡철근을 이용한 강관말뚝 머리보강 방법”, 대한토목학회학술발표대회, 2002. 10, pp. 18-21.
6. 한국지반공학회, “구조물기초설계기준해설”, 2003.

(접수일자 : 2007년 10월 10일)