

# 강관말뚝 머리결합부의 미끄럼 방지턱에 관한 하중전달 메카니즘 연구

## The Experimental Study on Load Transfer Mechanisms in Non-slip Device of Steel Pipe Pile Cap

김 영 호\*

Kim, Young-Ho

### Abstract

In Recent experimental research results of connection method between steel pipe pile and concrete footing are provided based on various experimental observations. It gives a shedding light toward developing better connection method for steel pipe pile at the field application.

In this study, the newly developed method is tested for compressive, pull put and combination load including moment with carefully designed monitoring system. The measured data show that new method have at least equivalent or better load resistant capacities compared with those of specified method in Korea Road Design Specification. It is also tried to define and investigate the load transfer mechanism for new method.

### 요 지

강관말뚝 머리를 확대기초 내에 얹게 근입하는 방법은 작업성과 배근의 용이성 등의 이점 때문에 일본과 우리나라에서 널리 적용되고 있다. 또한 일본은 몇 차례의 시방서 개정으로 말뚝머리 연결방법을 표준화하기에 이르렀고, 다양한 연결방법에 대하여 실험적 연구와 이론적 연구가 축적되었다.

따라서 국내에서도 최근 말뚝머리 보강설계에 대한 연구의 필요성이 대두되어 본 연구에서는 도로교 시방서에서 제시하는 대표적인 강관 말뚝머리 연결부 방법B 속채움방법에 대한 구조적 성능 및 특성을 파악하고자 단순 인발실험 및 단순 압입실험을 실시하여 말뚝머리 연결부의 거동 메카니즘을 규명하고자 한다. 또한 인발 및 압입실험의 결과에서 미끄럼 방지턱을 용접대신 고장력볼트로 접합하여 사용했을 경우 구조적 거동 안정성을 파악하고자 한다.

**Keywords :** Non-slip Device, Pile Cap, Steel Pipe Pile, Concrete Footing

**핵심 용어 :** 미끄럼 방지턱, 말뚝머리, 강관말뚝, 콘크리트확대기초

\* 정회원, 비비엠코리아(주) 기술연구소, 공학박사

E-mail : steelkyh@dreamwiz.com 011-9733-5655

•본 논문에 대한 토의를 2003년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2004년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

# 1. 서 론

## 1.1 연구배경

강관말뚝 머리를 확대기초내에 얹게 근입하는 B방법은 작업성과 기초 하부철근배근 용이성 등의 이점 때문에 한국과 일본에서 널리 적용되고 있다. 또한 일본은 몇 차례의 시방서 개정으로 말뚝머리 연결방법을 표준화 하기에 이르렀고, 다양한 연결방법에 대하여 실험적 연구와 이론적 연구가 축적되었다.

국내에서도 최근 말뚝머리 보강설계에 대한 연구<sup>5),6)</sup>의 필요성이 대두되어 몇 가지 경우에 대한 실험을 실시하였다. 그러나, 이러한 실험 연구들은 강관말뚝 머리연결부의 거동을 규명하기 위한 일관된 연구 목적을 가지고 시도되기보다는 새로운 말뚝머리연결방법에 대한 단순한 검증실험으로 시행되어 말뚝머리 연결부의 거동 메카니즘을 규명하는데는 미흡한 점이 많다.

Table 1 강관말뚝 관련 설계기준의 리스트

국가, 기관, 협회	기 준 명
일본	일본도로협회 道路橋示方書・同解説(IV下部構造編) 杭基礎設計便覽
	토질공학회 杭基礎の設計法とその解説
	일본건축학회 建築基礎構造設計指針
	일본토목학회 建築鋼ぐい基礎設計施工規準・同解説
	일본도로공단 設計要領 第二集 第六編
	일본항만협회 港灣の施設の技術上の規準・同解説
한국	일본 철도시설협회 建造物設計標準解説
	건설부 구조물기초설계기준 1986
	한국지반공학회 구조물기초설계기준 1997,2003
	대한토목학회 도로교설계기준(하부구조편) 2000
한국도로공사 설계시공표준도(시방서)	

따라서 강관말뚝 머리연결부의 파괴 메카니즘과 구조적 거동 특성을 파악하며, 또한 도로교 설계기준(2000)<sup>1)2)</sup>에서 제시한 강관말뚝 콘크리트 속채움 머리보강 방법에 사용되는 미끄럼 방지턱의 구조적 역할 즉, 하중전달 메카니즘을 분석할 필요가 있다.

## 1.2 연구 목적 및 내용

본 연구의 목적은 강관말뚝 머리보강 설계에서 가장 기본이 되는 연직하중인 인발력과 압입력에 대해 말뚝 결합부의 구조 거동 특성을 평가하고, 또한 강관 내부에 설치한 미끄럼 방지턱의 하중전달 특성을 실험적 방법으로 평가하고자 한다.

본 연구의 범위는 도로교 설계기준에서 제시하는 대표적인 강관 말뚝머리 연결부에 대한 결합방식인 “B 방법”과 새롭게 개발된 B사의 “볼트식 속채움 머리보강방법”에 대해 비교 실험을 실시한다. 또한 연구의 내용은 강관내 걸림턱과 속채움 콘크리트에 의해 결합부의 구조적 성능 및 특성을 파악하고자 인발실험과 압입실험을 수행한다. 그리고 인발 및 압입실험의 결과에서 미끄럼 방지턱을 현장 모살용접대신 고장력볼트로 접합하여 사용했을 경우 구조적 거동 안정성을 파악하고자 한다.

# 2. 말뚝머리 결합방법의 종류와 특징

## 2.1 결합방법의 종류

확대기초와 말뚝간의 결합조건은 Table 1과 같이 설계기준 및 관련 시방서에서 설계디테일 및 시공방법 등을 제시하고 있다.

Table 2 강결합과 힌지결합의 특징

구 분	강결합	힌지결합
수평하중에 의한 말뚝의 지표면 수평변위량	수평변위량이 작고, 확대기초가 회전하지 않는 경우에는 힌지결합의 1/2 이다.	수평변위량은 강결합의 경우보다 크다.
수평하중에 의한 말뚝 본체에 발생하는 휨 모멘트	말뚝 본체의 최대 휨모멘트가 크고, 말뚝머리부에서 발생한다. 지중에 매입된 말뚝에서 확대기초가 회전하지 않는 경우에는 힌지결합의 1.55배이다.	말뚝 본체의 최대 휨모멘트는 강결합의 경우보다 작고, 비교적 얇은 지중부에서 발생한다.
말뚝기초의 구조특성	힌지결합에 비해서 부정정 차수가 크다.	강결합에 비해서 부정정 차수가 작다.
결합방법의 실적	많은 실험·연구에 의해 설계법이 제안되고, 시공 실적이 많다.	주로 경험에 의해 설계되고, 교량기초에서의 시공 실적이 작다.

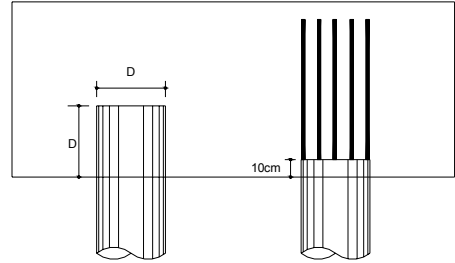
이러한 말뚝머리결합방법은 크게 강결합과 힌지결합 (Table 2)<sup>8)</sup>으로 구분한다. 그러나 「구조물기초설계 기준해설<sup>1)</sup>(한국지반공학회, 2003)」에서 “말뚝과 기초 푸팅의 연결부, 말뚝 이음부 등이 확실히 시공되어야 한다”라고 명시되어 있으며, 또한 「도로교 설계기준<sup>2)</sup>(대한토목학회, 2000)」에서는 “말뚝과 확대기초의 결합부는 말뚝머리 고정으로 설계하고, 결합부에 생기는 모든 응력에 대해 안전하도록 설계하여야 한다”라고 명시되어 있다. 일반적으로 토목구조물은 구조물의 안전성과 변위에 대한 문제를 고려하여 강결합방법(“A 방법”과 “B 방법”; Fig. 1, Table 3 참조)으로 설계한다. 그러나 확대기초의 하부철근 배근이나 시공성을 고려하여 “B방법”을 일반적으로 많이 적용하고 있는 실정이다. 간혹 건축구조물 관계 기준에서는 말뚝기초와 확대기초간의 결합조건이나 이에 따른 결합방법에 대한 제시가 되어 있지 않아 토목관계 기준들을 따르고 있는 실정이다. 그러나 해안지대나 매립지 등에서 확대기초와 강관말뚝 결합방식은 Table 3, Fig. 1과 같은 방법을 채택하고 있다.

## 2.2 결합방법의 특징

강결합방법은 A방법과 B방법으로 구분하고 있는데, “A 방법”은 확대기초내의 말뚝 근입깊이가 강관말뚝 직경 이상이며, “B 방법”은 근입깊이가 10cm정도로 매우 얇다. Table 4는 이들 결합방법의 특징<sup>8),9),10)</sup>을 정리한 것이다. 그러나 일본과 한국에서 몇 차례의 설계기준의 변경을 거치며 “B 방법”의 연결방법을 보편적으로 적용하고 있는데 이는 Table 4의 내용과 같이 현장시공성에 의한 작업성 문제, 경제성, 공사기간 등의 측면에서 유리하기 때문이다.

국내 설계기준·시방서에서 제시하는 강결합방법은 1980년대 이후에 적용한 강관머리 덮개판 방법(현장용접식 십자보강 덮개판 방법: Fig. 2, 볼트식 덮개판 방법: Fig. 3 참조)과 1990년대 후반들어 적용하고 있는 강관내부에 콘크리트를 충전하는 방법(현장용접식 미끄럼방지턱 + 콘크리트 속채움 방법)으로 구분된다. 이러한 결합방법의 변화 즉, 덮개판 방법에서 속채움방법으로 시방서 변경은 시

공성, 경제성, 구조 안정성 등을 고려한 연구결과로 이루어 졌다.<sup>8),9),10)</sup>



(a) 방법 A (b) 방법 B

Fig. 1 말뚝머리 결합방법

Table 3 말뚝머리 결합방법 A, B의 구조 상세

도로교 설계기준(2000) 콘크리트 속채움 방법	
A 방법	B 방법
<p>확대기초 위면</p> <p>강관내 말뚝중첩</p> <p>확대기초 콘크리트</p> <p>말뚝머리방차</p> <p>확대기초 주철근</p> <p>확대기초 아래면</p> <p>10cm</p> <p>10cm</p>	<p>확대기초 위면</p> <p>보강철근</p> <p>확대기초 콘크리트</p> <p>확대기초 아래면</p> <p>말뚝머리방차</p> <p>속채움 콘크리트</p> <p>15cm</p> <p>10cm</p> <p>10cm</p>

Table 4 강결합방법 중 “방법 A”와 “방법 B”의 특징

구분	방법 A	방법 B
휨모멘트에 대한 강결도	강결도는 방법B에 비해서 높고, 인발력이든 압입력이든 차이가 없음	강결도는 방법A에 비해서 낮고, 인발력이 압입력 보다 낮음
확대기초 하부 주철근	확대기초 하부 주철근이 절단되어 불연속되므로 추가 보강철근이 필요, 따라서, 배근이 복잡함	확대기초 하부 주철근에 조립 및 설치에 간섭이 없으므로 주철근 배근이 단순함.
확대기초 두께	확대기초의 두께는 말뚝머리부의 편칭전단에 대응하는 두께가 필요하게 되어 방법 B보다 크게 됨	확대기초의 두께는 말뚝머리부의 편칭전단 및 보강철근의 정착 등에 의해 요구되는 두께로 방법 A보다 작음

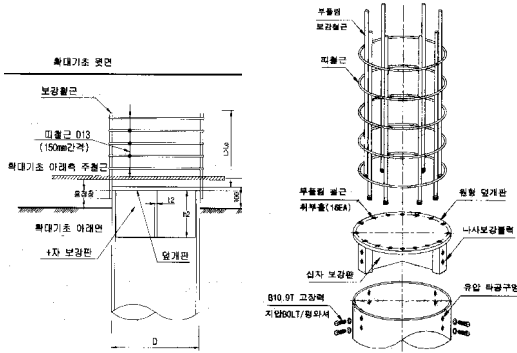


Fig. 2 용접식 덮개 판방법 Fig. 3 볼트식 덮개 판방법

(TJX), 용접식 걸림턱을 설치한 시방서 방법의 실험체 (TJO), 고장력볼트와 강제절편을 이용한 개발형 방법의 실험체(TN) 등을 Fig. 4와 같이 제작하여 실험한다.

Table 5 인발실험용 실험체 일람

구분 일람	강관 직경 (두께:9mm)	사용 철근 (SD30)	콘크리트평균 강도(kgf/cm <sup>2</sup> )	미끄럼방지턱
인발 1 (TJO)	φ-508mm	12-D19	246	有:시방서방법
인발 2 (TJX)	φ-508mm		230	無:시방서방법
인발 3 (TN)	φ-508mm		230	有:개발형방법 띠판+볼트

### 3. 인발 및 압입 실험계획

#### 3.1 실험계획

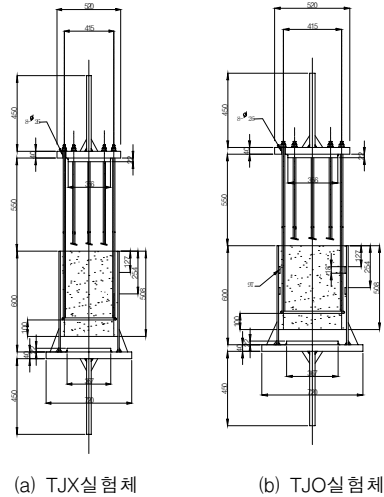
현재 국내에서 활발히 사용되고 있는 말뚝머리 결합부는 “B 방법”인 속채움 콘크리트 머리보강방법(도로교 설계기준)이나, 이러한 방법은 현장용접작업 및 시공조건 등의 문제로 시공성 및 경제성에 커다란 문제점을 안고 있다. 따라서 시방서 방법의 구조특성을 파악하며, 시공적, 경제적으로 우수한 새로운 머리보강방법을 중심으로 구조적 성능을 비교 실험하여 평가한다.

특히 “콘크리트 속채움 방법”의 하중 전달 메커니즘은 작용 연직하중(인장력, 압축력)을 강관과 강관내부에 설치되는 미끄럼 방지턱에 의해 강관을 통해 하부 지반에 전달되도록 하고, 또한 축방향력+휨모멘트 조합하중은 보강철근을 이용한 가상의 철근콘크리트 기둥단면을 이용하여 저항 메커니즘을 채택하고 있다.

따라서 실험 계획은 “시방서 용접식 걸림턱(이하, ‘시방서 방법’이라 함)”과 “볼트식 걸림턱 방법(이하 ‘개발형 방법’이라 함)”을 중심으로 강관 내부의 미끄럼 방지턱을 강제 띠판(2단 배치)을 사용하여 시방서 방법과 고장력볼트와 강제절편(강제 띠판, I자 형강)을 이용한 ‘개발형 방법’을 인발실험과 압입실험을 실시하여 하중전달 메커니즘을 규명하고자 실험체를 다음과 같이 계획하였다.

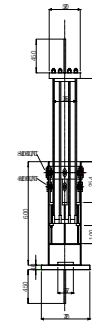
#### 1) 인발실험체

Table 5는 인발실험체 일람표로서 강관내부에 걸림턱을 설치하지 않고 단지 콘크리트만 충전한 실험체



(a) TJX실험체

(b) TJO실험체



(c) TN실험체

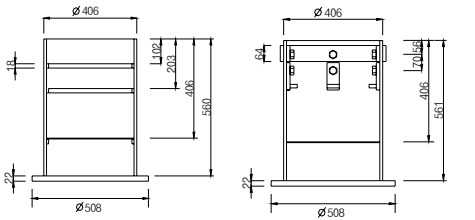
Fig. 4 인발 실험체 제작도

## 2) 압입시험체

Table 6은 압입시험체 일람표로서 강관내부에 걸림턱을 설치하지 않고 단지 콘크리트만 충전한 시험체(PJX), 용접식 걸림턱을 설치한 시방서 방법의 시험체(PJO), 고장력볼트와 강제절편을 이용한 개발형 방법의 시험체(PNO; 화학적 부착 고려, PNX; 화학적 부착 미고려 목적으로 강관내부에 윤활제 도포) 등을 Fig. 5와 같이 제작하여 실험한다.

Table 6 압입시험용 시험체 일람

구분	강관 직경 (두께:9mm)	Chemical Bonding	콘크리트 평균강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	미끄럼 방지턱
압입 1 (PJO)	φ-406mm	고려	151	有:시방서방법
압입 2 (PJX)	φ-406mm		152	無:순수부착
압입 3 (PNO)	φ-406mm		148	有:개발형방법 피판+볼트
압입 4 (PNX)	φ-406mm	미고려 (윤활처리)	143	有:개발형방법 피판+볼트



(a) 시방서 방법(PJO) (b) 개발형 방법(PNO, PNX)

Fig. 5 압입용 시험체의 단면형상

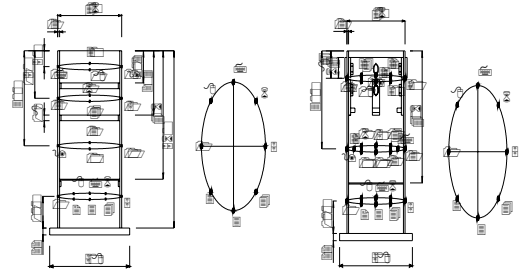
## 3.2 사용 재료

사용 강관은 강종 SPS400이고, 강관직경은 압입시험체용으로 406mm(두께9mm), 인발시험체용으로 508 mm(두께 9mm)를 사용하였다. 보강용 이형철근은 SD 30을 사용하였다.

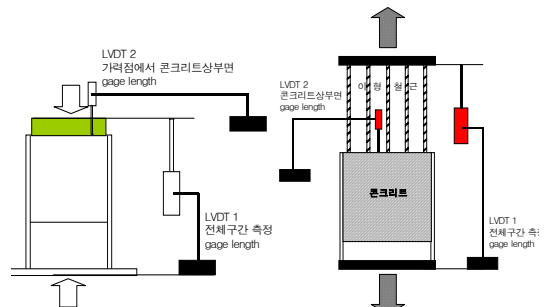
## 3.3 가력방법 및 측정방법

200톤 용량의 만능시험기(UTM-200A, Shimadzu 사)를 사용하여 축방향 하중(인장, 압축)을 이론적 탄성내력까지는 응력제어방법으로, 탄성상태 이후에는

변위제어방법으로 단조 가력하였다. 또한 강관내부에 설치한 미끄럼 방지턱에 의해 하중전달 메커니즘을 평가하고자 압입시험체인 강관 주변에 강제 선형탄성용 스트레인게이지(FLA-11-5)를 부착하였으며, 시험체의 전체변위(LVDT 1)와 콘크리트의 국부변위(LVDT 2)를 측정하기 위해 변위계를 Fig. 6과 같이 설치하였다. Photo 1과 Photo 2는 인발시험 및 압입시험의 가력전경을 보여준다.



(a) 게이지 부착 위치도(좌:PJO, PJX 우:PNO, PNX)



(b) 변위계 위치도

Fig. 6 게이지 및 변위계 부착 위치도



Photo 1 인발실험체 전경



Photo 2 압입실험체 전경

## 4. 실험결과

### 4.1 인발실험

Fig. 7과 같이 미끄럼 방지턱이 없는 실험체(TJX)는 콘크리트의 화학적 부착이 파괴(15.6tonf)된 이후 급격한 내력 감소와 함께 변위가 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 Photo 3은 화학적 부착파괴 이후 강관과 콘크리트의 순수 미끄럼 마찰 특성만을 보이고 있으며, 실험종료 후 상태를 보여준다. ‘시방서 방법’ 실험체(TJO)를 나타낸 Fig. 8의 하중-변위 곡선에서 작용하중 118.4tonf에서 철근개당 작용응력이  $3.43\text{tonf}/\text{cm}^2$ 로 항복상태에 도달하였으며, 이때 순수 철근변위는 8.4mm로 나타났다. 그리고 실험체의 항복거동은 작용하중 138.4tonf에서 콘크리트의 국부지압파괴를 보이며 급격한 변위의 증가를 나타냈다.

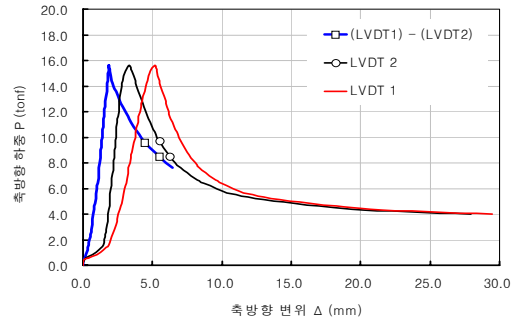


Fig. 7 TJX 인발실험체의 하중-변위 관계 곡선

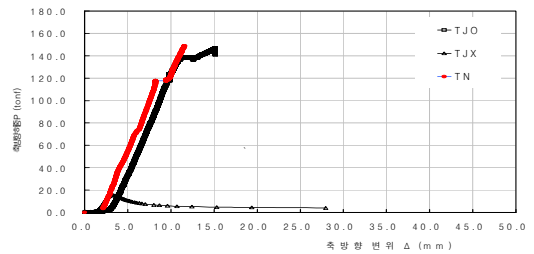


Fig. 8 인발실험체의 하중-변위 관계 곡선

또한 ‘개발형 방법’ 실험체(TN)의 경우 작용하중 118톤에서 TJO실험체와 거의 동일한 위치에서 철근이 항복상태에 도달하였다(Fig. 9 참조). 그러나 철근 항복이후 TJO실험체와 달리 TN실험체는 탄성거동을 나타냈으나 수직철근의 과도한 변형으로 최대내력까지 도달하지 못하고 실험을 종료하였다.

강재 원형 띠판과 고장력볼트에 의한 걸림턱 구성요소를 갖는 TN이나 시방서 방법(TJO) 실험체의 경우 화학적 부착파괴 이후에도 골재의 맞물림 작용이나 마찰력에 의해 선형 탄성거동을 유지하다가 걸림턱에 의한 콘크리트의 국부지압파괴를 보이며 완만한 거동을 보인 것으로 판단된다. 따라서 TJX실험체과 같은 미끄럼 방지턱이 없는 속채움방법 즉, 콘크리트 부착력만으로 말뚝머리부에 작용하중을 강관을 통해 지지반까지 하중을 전달하는 것은 구조안전성 측면에서 충분히 간과할 문제이다.



Photo 3 내부 속채움 콘크리트 뱀힘

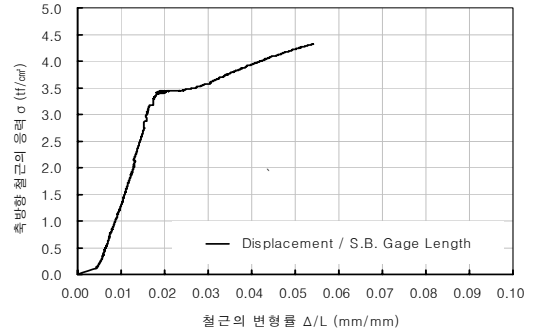


Fig. 9 수직철근 응력-변형도 곡선(TN실험체)



(a) PJX 실험체

(b) PNO 실험체

Photo 4 실험 종료 후 콘크리트 상태

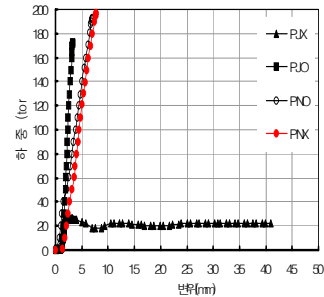


Fig. 10 압입 실험체의 하중-변위 관계 곡선

또한 강제 띠판을 모살용접한 TJO나 개발형 TN 실험체는 탄성범위내에서 실험이 진행되었지만 걸림턱과 콘크리트의 합성작용에 의한 구조적 거동 특성은 동등한 성능을 확보하는 것으로 판단된다.

## 4.2 압입실험

### 1) 하중-변위 곡선

Fig. 10과 같이 ‘시방서 방법’ 실험체(미끄럼방지턱이 없는 PJX형)는 최대내력 27.57tonf에서 강관내부의 속채움 콘크리트가 Photo 4(a)와 같이 강관내부로 빠지는 현상이 발생하였다. 이것은 강관과 속채움 콘크리트가 기계적 합성 연결장치가 없이 단순히 콘크리트와 강관의 화학적 부착만으로 이루어져 하중전달메카니즘을 구성하므로 이러한 부착파괴가 발생하는 순간 급격한 변위 증가와 함께 파괴에 도달하였다. 그러므로 걸림턱을 갖지 않은 경우, 강관과 속채움 콘크리트의 합성작용에 의한 하중전달 특성을 기대하기 어

렵다.

‘시방서 방법’ 미끄럼 방지턱이 있는 부재(PJO형)와 ‘개발형 방법’ 볼트식 속채움 부재(PNO, PNK)는 모두 하중 증가와 함께 변위가 매우 적게 발생하였으며, 전체적인 거동은 선형적 특성을 나타냈다. 또한 최대 하중 170tonf 이상 가력 후에도 강관내부 속채움 콘크리트가 빠지는 현상은 발생하지 않았다(Photo 4 (b) 참조). 따라서 걸림턱 구성요소(강제 띠판과 고장력볼트)를 갖는 경우, 강관의 구속효과에 의해 내부 콘크리트의 3차원 구속 응력상태로 합성거동이 완벽하게 이루어진다고 판단된다.

또한 ‘개발형 방법’인 PNO와 PNK 실험체는 강관내부에 화학적 부착을 무시할 수 있도록 윤활처리 유무에 따른 것이나 실험결과, 내력 뿐만 아니라 거동에서도 커다란 차이를 나타내지 않고 있다. 이는 작용하는 압입력에 의해 강관은 2축응력 상태에 있고 속채움 콘크리트는 3축응력 상태에 있다. 따라서 강관 두께와 재료 강도에 의해 횡구속 능력을 결정할 수 있는 영향

인자이며, 또한 내부 콘크리트는 이러한 횡구속 효과에 의해 압축강도의 상승 효과를 나타낸다. 최근 연구 결과에서도 강관에 의한 내부 속채움 콘크리트의 구속 효과는 콘크리트 압축강도를 상승시키므로, 걸림턱의 지압응력 평가시 응력 보정계수를 도입하기도 한다.<sup>7,11)</sup>

따라서 '시방서 방법'과 '개발형 방법'이 동일한 구조적 성능을 가지고 있는 것으로 판단되나, 2단 걸림턱의 현장용접 등에 의한 시공성과 경제성 극복은 '개발형 방법'을 적용하면 구조성능 및 시공성을 확보할 수 있다고 판단된다. 그리고 강관말뚝과 확대기초간의 기계적 하중전달기구인 걸림턱이 반드시 필요하고, 이로 인해 강관과 속채움 콘크리트의 합성거동이 나타났다.

## 2) 변형을 분포

각 실험체에 대하여 측정된 하중과 강관 외측 길이 방향으로 강관 외부의 변형과의 관계를 Fig. 11~14 와 같이 나타내었다. 각각의 실험체에 대하여 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

Fig. 11~14 까지의 그래프에서 (-)변형은 압축변형을 나타내는 것이다. 모든 실험체에서 내부 속채움 콘크리트 하부의 강관에서 최대 변형을 나타내고 있다. 강관 내부의 속채움 콘크리트를 가려하여 강관과 내부 속채움 콘크리트의 기계적 연결장치(걸림턱) 형태에 따라 하중전달 특성이 다르게 나타났다.

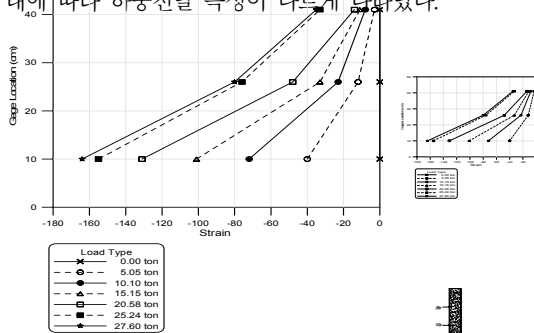


Fig. 11 PJX형 실험체

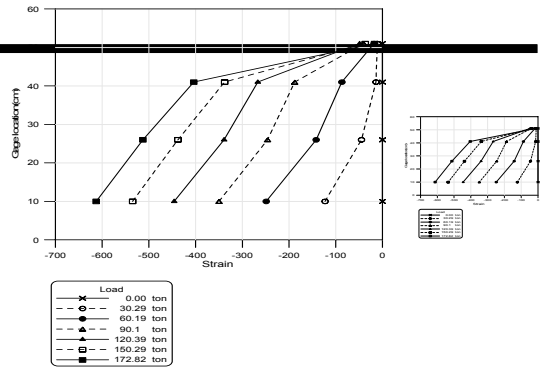


Fig. 12 PJO형 실험체

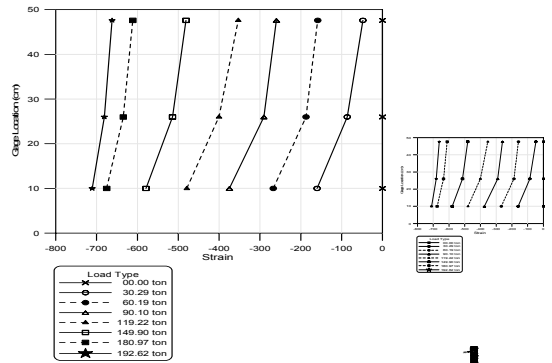


Fig. 13 PNX형 실험체

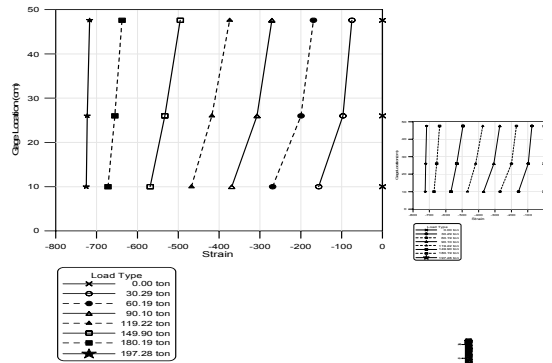


Fig. 14 PNO형 실험체

Fig. 11에서와 같이 미끄럼방지턱이 없는 PJX형에서는 강관과 속채움 콘크리트의 화학적 부착이 발휘되는 경우에는 하중전달이 이루어지는 것으로 보이나, 27tonf 이상에서는 강관과 속채움 콘크리트간의 부착



이 지속되지 않아 하중전달이 더 이상 이루어지지 않았다. Fig. 12에서 시방서 방법의 속채움 PJO형은 미끄럼 방지턱 1단이나 2단 하부에 부착된 게이지의 변형을 분포는 피라미드 형상으로 작용 하중중대와 함께 점진적으로 증가되었으나, 개발형 방법(PNO형: Fig. 13, PNx형: Fig. 14)의 변형을 분포는 미끄럼 방지턱 제1단 부위에 집중되어 분포하는 것으로 나타났다. 이는 개발형 방법의 경우 1단 걸림턱의 저항면적이 기존 시방서 방법 보다 크기 때문이며, 또한 하중 가력시 가압판으로부터 1단 걸림턱까지 거리가 시방서 방법은 101.5mm이고, 개발형 방법은 24mm가 이격되어 있기 때문에 가력하중이 직접적으로 전달된 영향으로 판단된다.

또한 개발형 방법인 실험체에 부착력을 고려한 경우(PNO형)와 부착력을 무시한 경우(PNx형)의 하중중가에 따른 변형을 분포는 전체적으로 유사한 하중전달 분포를 나타내고 있다. 이는 강관과 콘크리트의 부착을 무시해도 미끄럼 방지턱의 맞물림 작용과 충전강관 콘크리트의 횡구속효과와 같은 합성작용에 의해 이루어지는 것으로 판단된다. 따라서 강관과 콘크리트의 부착을 무시한 경우에도 하중전달 요소 즉, 기계적 연결장치에 의해 완전합성이 이루어짐을 알 수 있다.

또한 강관말뚝기초와 확대기초의 결합부가 존재하는 건설공사 현장에서, 강관 내부의 속채움 콘크리트는 크리프와 건조수축으로 인해 설계시에 부착력을 고려하는 것은 다소 무리가 있는 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서 말뚝머리 연결방법인 '시방서 방법'과 '개발형 방법'을 중심으로 인발 및 압입실험을 수행하여 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 미끄럼 방지턱을 갖는 시방서 방법이나 개발형 방법의 연직하중(압입력이나 인발력)에 대한 구조적 특성은 거의 동등한 구조성능을 나타냈다.

- 2) 미끄럼 방지턱이 없을 경우, 속채움 콘크리트와 강관 간의 합성작용이 나타나지 않고 뿔힘이나 빠짐 현상이 발생하였다. 따라서 강관과 콘크리트의 합성 작용을 위해 기계적 하중전달요소가 반드시 필요하다.
- 3) 강관말뚝 머리보강시 강관과 콘크리트의 합성작용을 유발하기 위해서는 기계적 전달장치를 반드시 설치하여 상부구조물의 하중을 지지반까지 안전하게 전달할 수 있도록 결합장치를 구현해야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, 도로교 표준시방서, 1996.
2. 건설교통부, 도로교 설계기준, 2000.
3. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조 설계기준, 1999.
4. 한국지반공학회, 구조물기초설계기준해설, 2003
5. 박영호, 김성환, 장용채, "볼트식 강관말뚝 머리보강 방법", 한국지반공학회지, 제14권 제6호, 1998, pp.57~71.
6. 유성근, 박종면, "PC Beam을 이용한 일체식 교대 교량의 설계 및 시공", 콘크리트학회지, 제10권, 제3호, 1998, pp.53~61.
7. 건설도서 편집부 역, "말뚝기초의 설계", pp.30-31, 건설도서, 1996.
8. 大志万, 和也, 福井次郎, "新しい鋼管杭の杭頭結合方法", 土木技術資料, Vol.27-1, 1985, pp.33~39.
9. 木村嘉富, 大越盛幸, 阪野彰, 福井次郎, "杭とアーチングの結合部の耐力・變形性能に關する載荷試験", 土木技術資料, Vol. 41-2, 1999, pp.62~67.
10. 大志万, 和也, 佐藤辛男, "杭基礎とアーチング結合部の設計", 基礎工, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 11月, 1985, pp.106~112.
11. 吉村 剛, "鋼管杭とアーチング結合部の耐下力の評價", 鐵道總研月例發表會講演要旨.
12. Tomlinson M.J., "Pile Design and Construction Practice", E&FN SPON, 1994.

(접수일자 : 2003년 11월 17일)