

## 새로운 강관말뚝 머리보강 방법

### Bolted Bonding Method of Steel Pipe Pile and Cap

박영호<sup>1)</sup>, Young-Ho Park, 김경석<sup>2)</sup>, Kyung-Suk Kim, 김성환<sup>3)</sup>, Sung-Hwan Kim, 전한철<sup>4)</sup>, Han-Cheol Chun, 이기홍<sup>5)</sup>, Ki-Hong Lee

- 1) 한국도로공사 도로연구소 지반연구실 책임연구원, Research Director, Geotechnical Div. of Highway Research Center, Korea Highway Corporation
- 2) 한국도로공사 도로연구소 지반연구실 연구원, Researcher, Geotechnical Div. of Highway Research Center, Korea Highway Corporation
- 3) 한국도로공사 도로연구소 지반연구실 수석연구원, Research Director, Geotechnical Div. of Highway Research Center, Korea Highway Corporation
- 4) 한국도로공사 서해안고속도로 사업소장, Head, SeHea Construction Bureau, Korea Highway Corporation
- 5) 한국주강(주) 건재사업본부 이사, Director, HanKook Steel Co. Ltd., Construction Material Division

**SYNOPSIS** : A new bonding method between steel pipe pile and spread footing using screw bolt is developed and a model tests are carried out at laboratory. Field tests are performed in the first Gago-Bridge which is located at the construction site of the SeHea Construction Bureau and in O-Chang Bridge which is located at the construction site of the Choong-Chung Construction Bureau.

According to the test results, a new design formula is proposed for bonding method of steel pipe pile and cap. It appears safe by structural analysis check.

As the reinforced plate reinforcing the head of steel pipe pile is made at factory, quality of the plate is excellent. The new bonding method can be conducted 10 times faster and is cheaper than the existing methods.

**KEYWORDS** : Screw bolt, Steel pipe pile, Bolted bonding method

## 1. 서론

기존의 강관말뚝과 확대기초를 연결하는 방법 즉, 강관말뚝 머리보강 방법(도로교표준시방서방법 1983, 1992, 1996년)은 강관말뚝 머리정리 및 보강을 대부분 용접으로 하고 있으며, 관리가 적절하지 못할 경우에 강관말뚝 머리보강이 확실하게 되는지 의문스러운 상황이다. 또한, 현장에서 고품질의 용접을 수행할 수 있는 용접공을 구하기가 어려울 뿐만아니라 강관말뚝 머리정리 및 보강하는데 소요되는 시간이 너무 오래 걸린다.

이러한 점을 감안하여, 기존방식에서 필요하던 현장 용접작업을 완전히 없애고, 각 부분의 연결방식을 볼트로 처리하며, 강관말뚝 머리보강에 관련된 부분을 공장에서 만들어서 현장에 적용하므로써 공기단축과 현장 적용성 향상, 고품질 및 규격화, 그리고 경제적으로 강관말뚝을 머리정리 및 보강을 할 수 있다는 점에 착안된 새로운 보강공법인 “볼트식 강관말뚝 머리보강 방법”을 개발하게 되었다. 현재 이 방법은 특허, 실용신안, 상표, 신기술신공법이 출원 중이며, 의장특허는 금년 1월에 출원획득하였다.

실내시험과 현장시험시공 결과, 본 연구진이 개발한 볼트식 강관말뚝 머리보강 방법은 기존 방법보다 경제성, 안정성 그리고, 현장 적용성 및 시공성이 뛰어났으며, 이에 대한 설계 공식을 제안하였다.

## 2. 말뚝과 확대기초 결합부

### 2.1 구조세목

말뚝머리부의 결합방식으로는 일반적으로 강결합과 힌지결합이 있고, 어느 방식을 채용하는가? 하는 것은 구조물의 형식과 기능, 확대기초의 형태와 치수, 말뚝의 종류, 지반조건, 시공 난이도 등을 고려하여 책임기술자가 결정하여야 한다. 다만, 교량기초의 경우에는 말뚝머리고정 즉, 강결합으로 설계하는 것을 원칙으로 한다. 그 이유는 말뚝머리 고정으로 설계하면 수평변위량에 따라 설계가 지배되는 경우에 유리하고, 부정정차수가 크기 때문에 내진상의 안전성이 높다고 할 수 있는 점 등이다.

#### 2.1.1 결합방법

말뚝과 확대기초의 결합법은 그림 1과 같이, “방법 A”와 “방법 B”가 있다. “방법 A”은 말뚝머리부를 확대기초 속에 말뚝지름 정도를 매입함에 따라 말뚝머리 강결조건을 만족시키는 방법이다. “방법 B”은 말뚝머리부를 확대기초 속에 10cm 정도를 매입하고, 말뚝머리 모멘트를 주로 보강철근이 저항하도록 하는 방법이다.

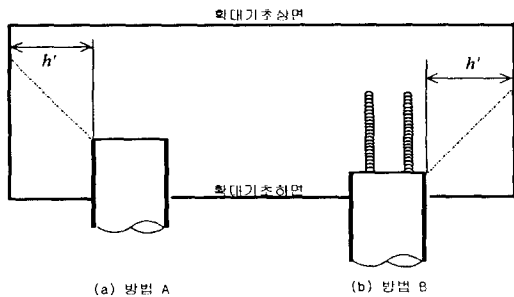


그림 1. 수평방향의 압발전단

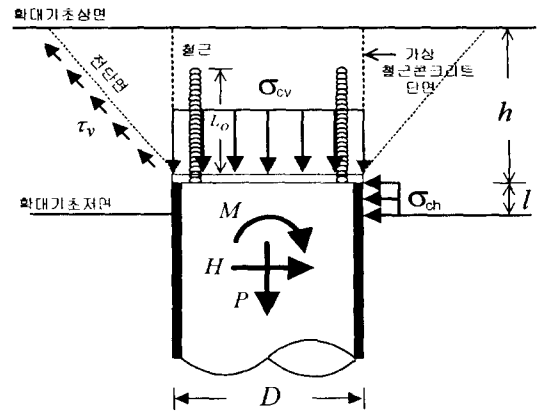


그림 2. 방법 B에 의한 결합

#### 2.1.2 강관말뚝 설계방법

말뚝과 확대기초의 결합부는 강결로 설계하고, 말뚝머리부분에 작용하는 압축력, 인발력, 수평력 및 모멘트에 저항할 수 있도록 설계한다. 그리고 확대기초 콘크리트의 수직지압응력, 편칭전단응력, 수평지압응력 등에 대해 검토한다. 또한 확대기초 단부의 말뚝에 대해서는 수평방향의 편칭전단응력에 대해서도 검토한다. 방법 B에는 철근으로 말뚝머리를 보강할 경우에는 철근 콘크리트 단면을 가정하고 콘크리트 및 철근의 응력을 검토한다.

말뚝머리 결합부에 있어서 외력의 전달은 다음과 같이 생각할 수 있다.

- ① 압입력 또는 인발력에 대해서는, 말뚝주면과 확대기초 콘크리트의 전단저항 또는 말뚝머리부에 대한 확대기초 콘크리트의 지압저항에 의해 지지시킨다.
- ② 수평력에 대해서는, 매입된 말뚝의 주면에서 확대기초 콘크리트의 지압저항에 의해 지지시킨다.
- ③ 휨모멘트에 대해서는, 결합용의 철근을 포함한 가상철근콘크리트 기둥의 휨저항에 의해 지지시킨다.

또한, 확대기초는 말뚝머리에 작용하는 축방향력에 대해서 충분한 강도가 필요하다.

그리고 식(5)에서 식(8)까지는 볼트식 강관말뚝 머리보강 구조검토에 필요한 식으로 제안하며 그외는 도로교표준시방서(1983년)에 있는 식을 사용한다.

A. “말뚝머리부분에 작용하는 압축력, 인발력, 수평력 및 모멘트에 대해 저항할 수 있도록 검토

1) 확대기초 콘크리트의 수직지압응력,  $\sigma_{cv}$

$$\sigma_{cv} = \frac{P_{Nmax}}{\frac{\pi}{4} D^2} \leq \sigma_{ca} \quad (1)$$

여기서  $\sigma_{ck}$ ,  $\sigma_{ca}$  : 콘크리트의 설계기준강도(kg/cm<sup>2</sup>)와 허용지압응력(kg/cm<sup>2</sup>)

$D$ ,  $P_{Nmax}$  : 말뚝의 외경(cm)과 상시와 지진시에 각 말뚝에서 작용하는 가장 큰 연직력(kg)

2) 확대기초 콘크리트의 수직인발전단응력,  $\tau_v$

$$\tau_v = \frac{P_{Nmax}}{\pi(D+h)h} \leq \tau_{a3} \quad (2)$$

여기서  $\tau_{a3}$  : 상시와 지진시, 콘크리트의 허용인발전단응력(kg/cm<sup>2</sup>)

$h$  : 수직방향의 인발전단에 저항하는 확대기초의 유효두께(cm) [그림 2 참조]

3) 확대기초 콘크리트의 수평지압응력,  $\sigma_{ch}$

$$\sigma_{ch} = \frac{P_{Hmax}}{D \cdot l} \leq \sigma_{ca} \quad (3)$$

여기서  $l$ ,  $P_{Hmax}$  : 말뚝의 매입길이(cm)와 말뚝축직각방향력(kg)

4) 확대기초 단부의 말뚝에 대한 확대기초 콘크리트의 수평압발전단응력,  $\tau_h$

$$\tau_h = \frac{P_{Hmax}}{h'(2l+D+2h')} \leq \tau_{a3} \quad (4)$$

여기서  $h'$  : 수평방향의 압발(押拔)전단에 저항하는 확대기초의 유효두께(cm) [그림 1 참조]

5) 원형뿔개관의 나사구멍과 부풀림 보강철근 나사와의 전단응력,  $\tau_b$

$$\tau_b = \frac{P_{Nmax}}{n \cdot \pi \cdot d_{el} \cdot L_1} \leq \tau_{a1} \quad (5)$$

여기서  $\tau_{a1}$ ,  $n$  : 부풀림 보강철근 나사산의 허용전단응력(kg/cm<sup>2</sup>)과 부풀림 보강철근의 수

$d_{el}$ ,  $L_1$  : 부풀림 보강철근 나사의 유효지름(cm)과 부풀림 보강철근 나사 길이(cm)

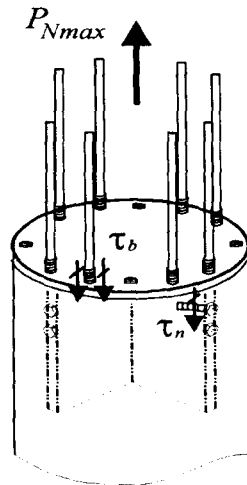


그림 3. 보강 덮개판과 부풀림 보강철근 나사의 연결부분의 전단응력과 부풀림 보강철근의 표준배열형태

6) 지압이음용 고장력볼트의 수직전단응력,  $\tau_n$

$$\tau_n = \frac{P_{Nmax}}{n \cdot \left( \frac{\pi \cdot d_{e2}^2}{4} \right)} \leq \tau_{a2} \quad (6)$$

여기서  $\tau_{a2}$ ,  $n$ ,  $d_{e2}$  : M24 B8T 지압용 고장력볼트의 허용전단응력(kg/cm<sup>2</sup>), 고장력 볼트의 수, 지압용 고장력 볼트의 유효지름(cm)

7) 부풀림 보강철근의 정착장,  $L_o$

$$L_o = \frac{\sigma_{sa} A_{st}}{\tau_{oa} U} \quad (7)$$

일반적으로,  $L_o = 33d$  ( $D=406.4\text{mm}$ ),  $L_o = 41d$  ( $D=406.4\text{mm}$ )로 한다 [그림 2 참조].

여기서  $\sigma_{sa}$ ,  $A_{st}$  : 보강철근의 허용인장응력(kg/cm<sup>2</sup>)과 단면적(cm<sup>2</sup>)

$U$ ,  $\tau_{oa}$  : 철근의 둘레길이(cm)와 콘크리트의 허용부착응력(kg/cm<sup>2</sup>)

8) 원형덮개판과 십자보강판의 제원

표 1. 원형덮개판과 십자보강판의 제원

구분	말뚝직경	볼트식 강관말뚝 두부보강방법		1983년도 강관말뚝 두부보강방법	
		406.4(mm)	508.0(mm)	406.4(mm)	508.0(mm)
원형덮개판의 두께 (mm)		22	22	22	22
십자보강판	두께 (mm)	22	25	22	22
	길이 (cm)	19	19	30	30

9) 확대기초 속에 말뚝머리부분의 매입길이는 최소한 10cm 로 한다.

10) 가상철근콘크리트 단면의 응력

계산은 상시와 지진시에 생기는 외력에 대해서 하고, 최소수직력(  $P_{Nmin}$  )과 말뚝본체에 생기는 설계모멘트(  $M$  ) 그리고 최대수직력(  $P_{Nmax}$  )과 설계모멘트(  $M$  )가 작용하는 경우에 철근 콘크리트 단면을 가정하여 콘크리트와 철근의 응력을 검토한다.

B. 확대기초 콘크리트의 연직지압응력, 편칭전단응력, 수평지압응력 등에 대해 검토

1) 연직지압강도(강도설계법)

$$V_u < \phi_b S_n \tag{8}$$

여기서  $V_u$  : 극한연직하중의 설계단면력(kg) =  $1.7 \times P_{Nmax}$

$P_{Nmax}$  : 각 말뚝열의 머리부분에 작용하는 최대수직력(kg)

$$\phi_b S_n : \text{콘크리트의 설계지압강도(kg)} = \phi_b \times (0.85 \times \sigma_{ck} \times A_1) \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

$A_1, A_2$  : 재하면적과 지지면적( $\text{cm}^2$ ),  $\phi_b$  : 콘크리트 지압에 대한 강도감소 계수

2) 수평지압강도

$$H_u < \phi S_n \tag{9}$$

여기서  $H_u$  : 극한수평하중의 설계단면력(kg) =  $1.7 \times P_{Hmax}$

$P_{Hmax}$  : 각 말뚝열의 머리부분에 작용하는 최대수평력(kg)

$$\phi S_n = \phi \times (0.85 \times \sigma_{ck} \times \text{말뚝근입깊이} \times \text{말뚝직경})$$

3) 편칭전단강도(가장 불리한 단면만 검토)

$$S_u < \phi S_n \tag{10}$$

여기서  $S_u = 1.7 \times P_{Nmax}$ ,  $\phi S_n = \phi \times 1.1 \times \sqrt{\sigma_{ck}} \times b_p \times d$ ,  $b_p = \pi \times (\text{말뚝직경} + d)$

$d$  : 유효깊이 = 말뚝 위치의 단면두께(즉, 확대기초 두께) - 저판에서 철근덮개

3. 기존 강관말뚝 머리보강 방법

3.1 기존 방법의 시공성, 경제성, 적용성 비교(방법 B)

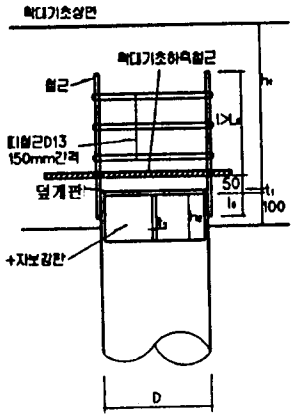
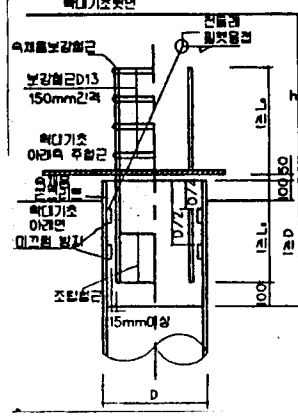
기존의 고속도로 공사에서 사용하고 있는 강관말뚝 머리보강 방법에 대한 시공성, 경제성 그리고, 적용성을 비교한 것이 표 2에 나타나 있다.

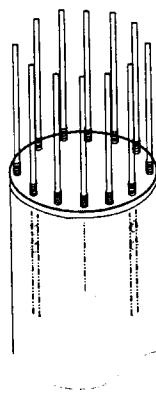
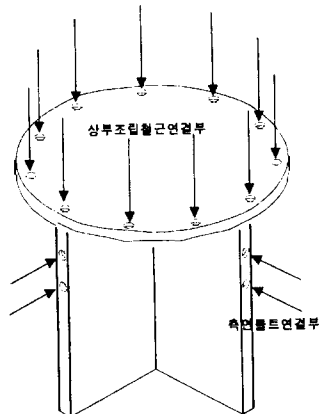
4. 새로운 강관말뚝 머리보강 방법

4.1 볼트식 강관말뚝 머리보강 덮개판의 개요

현장작업을 최소한으로 줄이기 위하여, 강관말뚝 머리보강에 관련된 부품을 기성제품화하여, 이를 강관말뚝에 현장용접이 아닌 볼트로 열결할 수 있도록 만든 것이 “볼트식 강관말뚝 머리보강 덮개판”이며, 그 개요는 그림 4와 같다.

표 2. 고속도로 공사에서 사용하고 있는 강관말뚝 머리보강 방법들

구분	'83년 도로교표준시방서(안) (한국도로공사, '97년 3월까지 시행)	'92년 도로교표준시방서(안) (한국도로공사, '97년 4월부터 시행)
도면		
시공 개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>확대기초 저면에서 20cm를 남겨두고, 인력으로 강관말뚝머리 절단</li> <li>십자보강판 삽입하여 강관내부와 용접</li> <li>원형덮개판과 강관말뚝머리를 서로 용접</li> <li>강관말뚝 바깥 측면둘레에 길이 700mm(850mm)의 보강철근(12개)을 50mm만 필렛용접</li> <li>확대기초 저면에서 10cm 버림 콘크리트 타설</li> <li>확대기초 철근조립 및 콘크리트 타설</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>확대기초 저면에서 20cm를 남겨두고, 인력으로 강관말뚝머리 절단</li> <li>절단된 말뚝머리에서 1.0m아래에 4개의 합판 걸림턱 용접</li> <li>합판걸림턱에 합판 설치</li> <li>1, 2열의 미끄럼 방지턱을 강관내부 전둘레에 필렛 용접</li> <li>속채움 보강철근을 강관말뚝 내부에 삽입하여 콘크리트 타설</li> <li>확대기초 철근조립 및 콘크리트 타설</li> </ul>
공법 특징	<p>(장점)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>없음</li> </ul> <p>(단점)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>현장용접으로 인한 용접불량 야기</li> <li>용접 전문가 필요</li> <li>속채움 보강철근의 이동 불가 → 주철근 배치 적용성(↓)</li> </ul>	<p>(장점)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>없음</li> </ul> <p>(단점)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>현장용접으로 인한 용접불량 야기</li> <li>용접 전문가 필요</li> <li>속채움 콘크리트 필요</li> <li>속채움 보강철근의 이동 불가 → 주철근 배치 적용성(↓)</li> </ul>
시공성 및 적용성	<ul style="list-style-type: none"> <li>보통</li> <li>머리보강 시간 = 20-30분/개</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>아주 나쁨 : 합판거푸집 걸림턱과 1, 2열의 미끄럼 방지턱 용접</li> <li>속채움 보강철근을 강관 내부에 삽입하여 콘크리트 타설 : 보강철근의 배치문제와 주철근 배치의 적용성(↓)</li> <li>머리보강 시간 = 40-50분+(콘크리트 양생시간)</li> </ul>
총 공사비	<ul style="list-style-type: none"> <li>고가 :</li> <li>강관말뚝 두부보강 및 선단처리 비(D=406.4mm) = 409,332(원)/개</li> <li>강관말뚝 두부보강 및 선단처리 비(D=508.0mm) = 527,955(원)/개</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>중가 :</li> <li>강관말뚝 두부보강 및 선단처리 비(D=406.4mm) = 232,118(원)/개</li> <li>강관말뚝 두부보강 및 선단처리 비(D=508.0mm) = 278,819(원)/개</li> </ul>



- 부풀림 보강철근 (기성제품)
- 8개의 부풀림 보강철근(이형철근의 한쪽면을 부풀려서 나사산을 낸 것)을 원형덮개판의 12개 나사구멍에 삽입
- 측면에 8개 고장력 볼트로 연결

(a) 볼트식 강관말뚝 머리보강 덮개판(기성제품) (b) 부풀림 보강철근이 삽입된 장면  
그림 4. 볼트식 강관말뚝 머리보강 덮개판과 부풀림 보강철근이 삽입된 장면

## 4.2 구조계산

볼트식 강관말뚝 머리보강 공법에 대한 이론적인 구조계산은 부풀림한 부분과 하지 않은 부분의 이형철근이 인발력에 파단될 때의 인장강도, 부풀림보강철근 나사와 원형뿔개판의 나사구멍과의 전단강도, 강관말뚝 머리부분 측면에 지압이음용 고장력 볼트의 전단강도를 계산한다.

### 4.2.1 부풀림 안된 보강철근의 인장강도

이형철근(SD-30)의 직경과 길이는 각각  $\phi 19$  와  $650\text{mm}(D=406.4\text{mm})$  또는  $800\text{mm}(D=508\text{mm})$  이다. 이 단면의 압축강도 및 인장강도는 식(11)과 그림 5와 같다.

$$P_u = nA_s \cdot \sigma_f \quad (11)$$

여기서,  $A_s$  :  $\phi 19$  이형철근의 공칭단면적 =  $2.865(\text{cm}^2)$ ,  $n$  : 이형철근의 수

$\sigma_f$  : 이형철근의 인장강도 =  $4,500(\text{kg}/\text{cm}^2)$

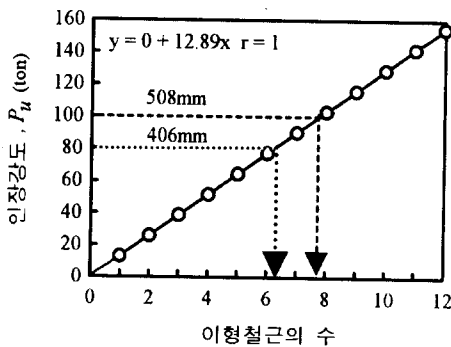


그림 5. 부풀림 안된 보강철근의 인장강도

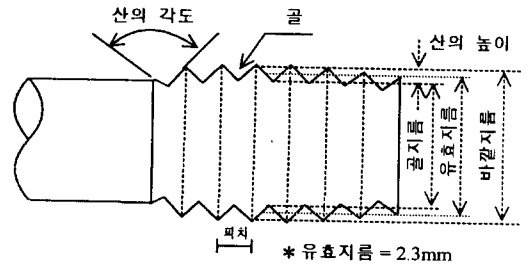


그림 6. 부풀림 보강철근 나사(M24, 3.0P)의 제원

### 4.2.2 부풀림된 보강철근의 인장강도

부풀림 보강철근(SD-30)의 직경과 길이는 각각  $\phi 19$  와  $650\text{mm}(D=406.4\text{mm})$  또는  $800\text{mm}(D=508\text{mm})$ 이다. 부풀림 보강철근은 작용하는 모든 외력에 저항하기 위하여 이형철근 한쪽 부분을 20mm 축소시켜 단면적을 크게 한 뒤에 나사를 낸 것이며, 그림 6에 나타나 있다. 그리고 부풀림 보강철근 나사 수에 따른 인장강도(또는 압축강도)은 식(12)와 그림 7에 나타나 있다.

$$P_u = n \cdot \frac{\pi}{4} d_1^2 \cdot \sigma_f = n \cdot \frac{\pi}{4} (2.3)^2 \cdot (4,500) = 17.1 \times n (\text{ton}) \quad (12)$$

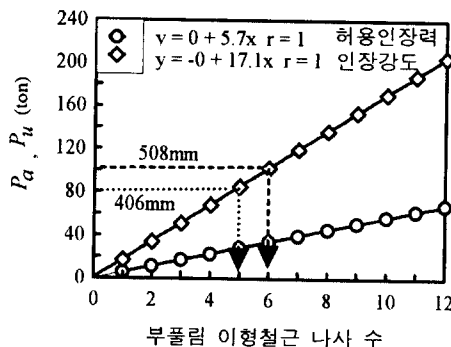


그림 7. 부풀림된 보강철근의 인장강도

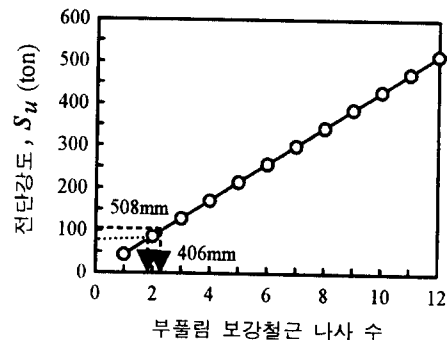


그림 8. 부풀림 보강철근 나사산의 전단강도

### 4.2.3 부풀림 보강철근 나사와 원형뿔개판의 나사와의 전단강도

부풀림 보강철근 수에 따른 부풀림 보강철근 나사와 원형뿔개판의 나사구멍과의 전단강도는 식 (13)과 그림 8에 나타나 있다.

$$S_u = n \cdot U \cdot [0.6 \times \tau_u] = n \cdot (\pi \times D_e \times L) \cdot [0.6 \times \tau_u] = 42.92 \times n \text{ (ton)} \quad (13)$$

#### 4.2.4 강관말뚝 머리 측면 지압이음용 고장력 볼트의 전단강도

강관말뚝 직경, D=406.4mm와 D=508.0mm에 설치하는 지압이음용 고장력 볼트의 직경은 각각 B8T 지압이음용 고장력볼트 16mm(유효지름=15.25mm)와 3/4inches(유효지름=17.78mm)이며, 볼트 개수에 따라 고장력 볼트의 전단강도는 식(14)와 그림 9와 같다.

$$S_u = n \cdot A_e \cdot \tau_u = n \cdot \frac{\pi}{4} \times d_e^2 \cdot [0.6 \times \sigma_f] \quad (14)$$

여기서  $\sigma_f$  : M24 B8T 지압이음용 고장력 볼트의 인장강도 ( $kg/cm^2$ ) = 8,000

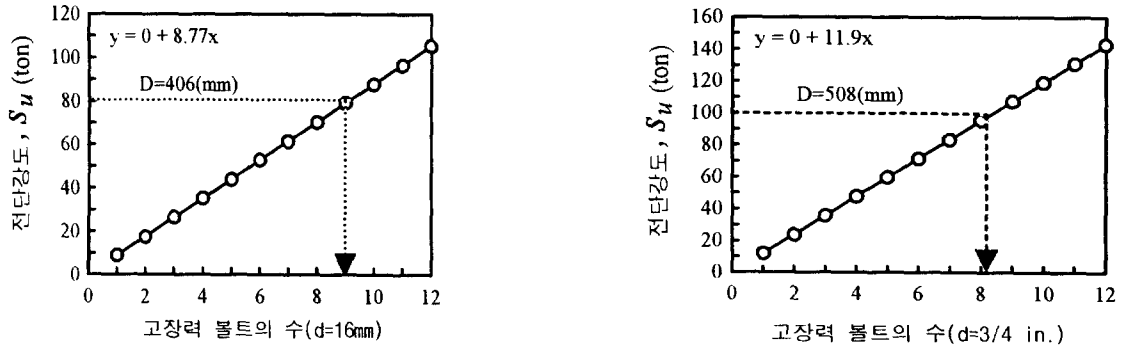


그림 9. 고장력 볼트 수에 따른 강관말뚝과 볼트와의 전단강도

강관말뚝 직경에 따라 설계상의 말뚝 개당 최대압축력은 직경, D=406mm인 경우에는 80(ton) 그리고 직경, D=508mm인 경우에는 100(ton)에 저항할 수 있도록 설계를 한다.

구조검토 결과에 의하면, 부풀림하지 않은 단면의 보강철근 갯수는 7개(D=406mm)와 8개(D=508mm), 부풀림된 이형철근 단면의 보강철근 갯수는 5개(D=406mm)와 6개(D=508mm), 부풀림 보강철근 나사와 원형덮개판의 나사구멍과의 전단력은 부풀림 보강철근 2개(D=406mm)와 3개(D=508mm) 그리고, 고장력 볼트의 수는 9개(D=406mm, 508mm)이면 최대압축력에 충분히 저항할 수 있음을 알 수 있다.

### 4.3 실내시험

#### 4.3.1 시편의 제원과 인장시험 결과

4.2절에서 구조검토한 결과를 근거로, 표 3과 같이 만든 볼트식 강관말뚝 머리보강 시편을 한국표준과학연구원에 있는 만능시험기(UTM)로 인장시험한 결과는 그림 10과 같다.

표 3. 볼트식 강관말뚝 머리보강 시편의 제원

강관말뚝			부풀림보강철근			원형덮개판		십자보강판		고장력 볼트	
직경(mm)	두께(mm)	길이(mm)	직경(mm)	길이(mm)	갯수	두께(mm)	구멍수	두께(mm)	길이(mm)	직경	갯수
406.4	9	220	19	225	변화	22	12	22	190	16(mm)	8
508.0	9	220	19	225	변화	22	12	25	190	3/4(in.)	8



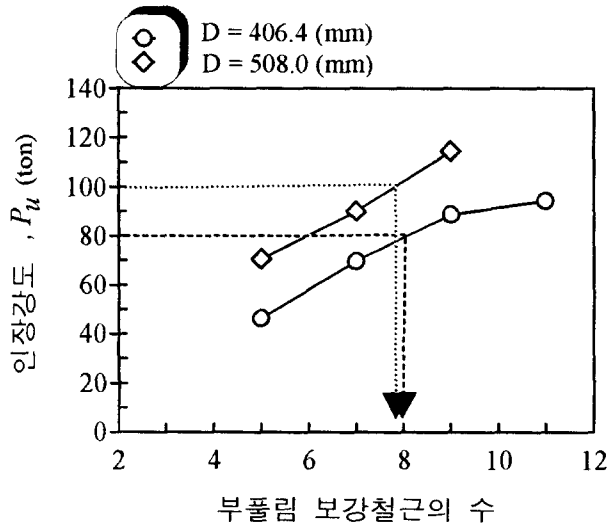


그림 10. 부풀림 보강철근 수에 따른 볼트식 강관말뚝 머리보강의 인장강도

인장실험 결과인 그림 10에 직경 406.4mm와 508mm의 강관말뚝에 작용하는 개당 최대압축력인 80(ton)과 100(ton)을 적용하여 구한 볼트식 강관말뚝 머리보강 덮개판의 제원은 표 5와 같고, 표준도는 그림 11과 같다.

표 5. 볼트식 강관말뚝 머리보강 덮개판의 제원

강관말뚝	부풀림 보강철근				원형 덮개판		십자보강판		고장력 볼트	
	부풀림나사	직경(mm)	길이(mm)	최소 수	두께(mm)	구멍수	두께(mm)	길이(mm)	직경	갯수
406.4	M24 3P	19	650	8	22	12	22	190	16(mm)	8
508.0	M24 3P	19	800	8	22	12	25	190	3/4(inches)	8

### 4.3 표준도와 부풀림 보강철근의 배열

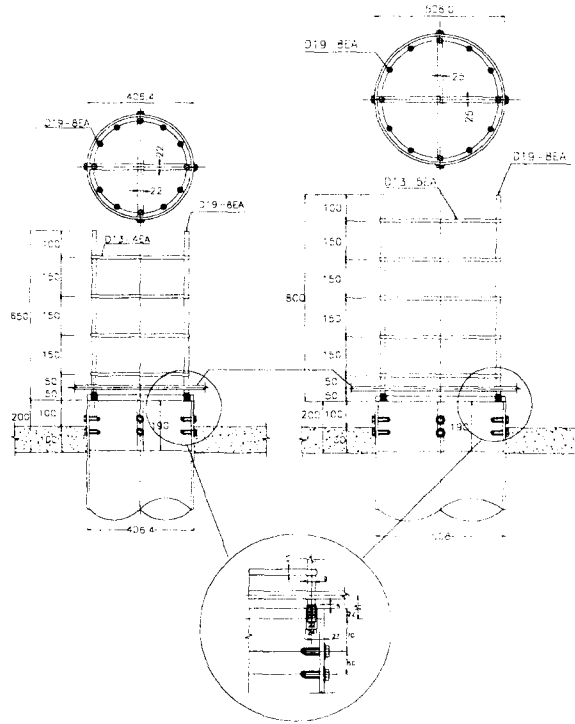
볼트식 강관말뚝 머리보강 덮개판을 설치한 후에 부풀림 보강철근을 설치하는 가장 좋은 배열 형태는 그림 3과 같고, 이를 “표준배열형태”라고 한다. 설치 방법은 원형덮개판에 한개의 나사구멍을 비워 두면서 두개의 부풀림 보강철근을 설치하며 모든 축에 대칭이다.

## 5. 시험시공

### 5.1 시험시공 위치

본 연구에서 제안한 공법과 도로교통표준시방서(1992년도)에 있는 강관말뚝 머리보강 방법과의 현장 적용성을 비교하기 위하여, 서해안 고속도로 제 1건설사업소 제 1공구 가교 1교 교대 A1과 제 5공구 목현교, 충청지역본부 오창 I.C.의 오창육교, 그리고 호남지역본부 진월 I.C.의 교량 강관말뚝기초에 적용하였다.

### 5.2 강관말뚝과 확대기초 결합부의 설계 검토



(a) D=406.4 (mm)      (b) D=508 (mm)  
 그림 11. 볼트식 강관말뚝 두부보강의 표준도

### 5.2.1 설계조건

시험시공한 서해 제 1건설사업소 제 1공구 가교 1교 지반조건과 교대는 그림 12에 나타나 있고, 말뚝선단인 9.03m에서의 N치는 50/3이다. 그리고 상부구조물은 단경간 STEEL BOX GIRDER 합성교이며, 교장과 교폭은 각각 L = 40.0m와 B = 16.035m 이다. 하부구조물의 형식은 역 T형 교대이며, 높이와 전폭은 각각 H=7.0m와 B=4.7m 이다.

말뚝기초형태는 타입말뚝에 의한 강관말뚝이며 말뚝직경은  $\phi 508.0\text{mm}$ , 평균항타말뚝길이는 9.03m 그리고, 강관말뚝 두께는 9mm이다.

표 6. 외력 편람

	연직력(t)	수평력(t)	모멘트(t-m)
상시	1502.3	288.2	383.8
지진시	1282.8	358.3	896.7

표 7. 각 말뚝에 작용하는 변위와 응력

착안점	변위 및 응력	단위	상시	지진시
0점의 변위	$\delta_x$	cm	0.11	0.16
	$\delta_y$	cm	0.16	0.13
	$\alpha$	rad	$3.3 \times 10^{-4}$	$6.5 \times 10^{-4}$
1열	$P_{N1}$	ton	56.75	62.81
	$P_{H1}$	ton	8.48	10.54
	$M_{t1}$	ton-m	-4.59	- 4.33
2열	$P_{N2}$	ton	42.34	34.92
	$P_{H2}$	ton	8.48	10.54
	$M_{t2}$	ton-m	-4.59	- 4.33
3열	$P_{N3}$	ton	27.92	27.92
	$P_{H3}$	ton	8.48	10.54
	$M_{t3}$	ton-m	-4.59	- 4.33

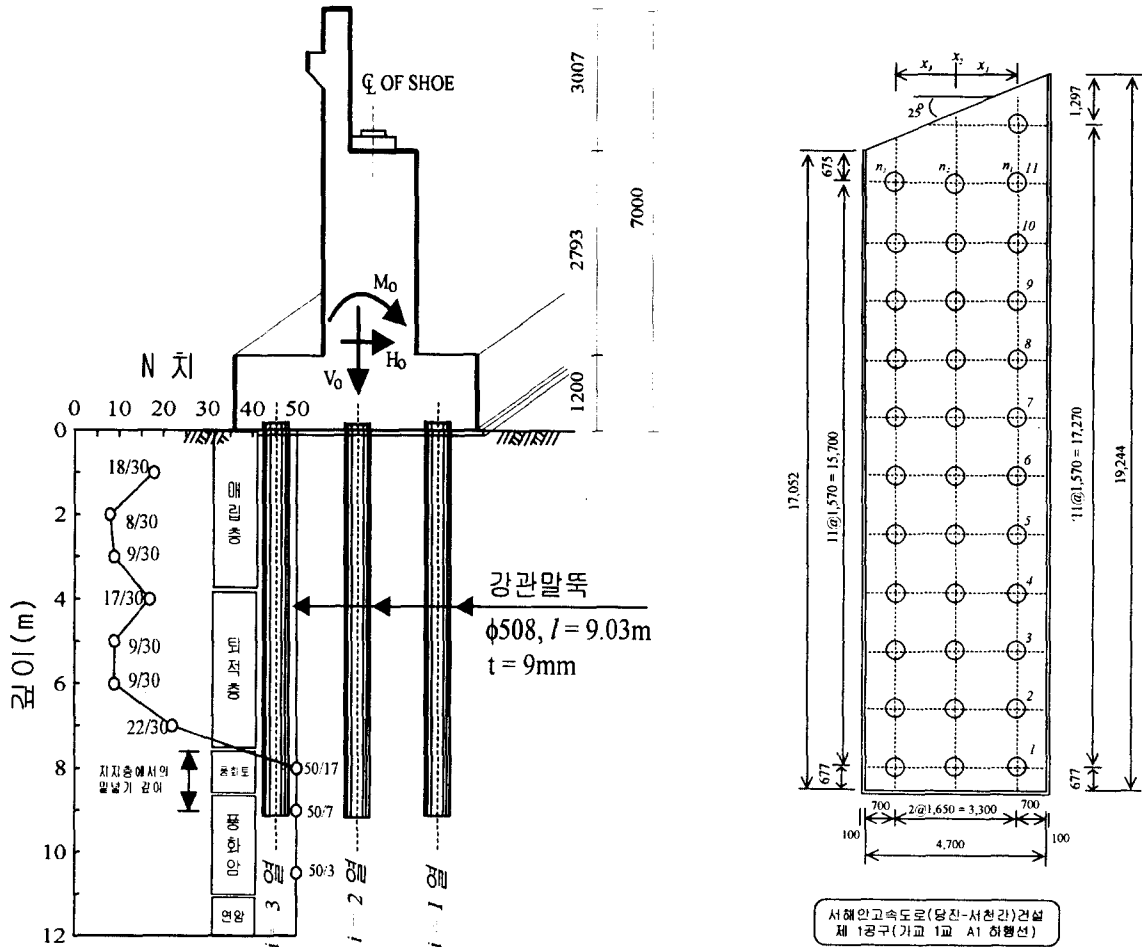


그림 12. 가교 1교 교대 기초지반과 말뚝의 배치도

확대기초 중앙에 작용하는 외력의 크기는 표 6과 같고, 변위법으로 구한 각 말뚝에서 발생하는 변위와 응력은 표 7에 나타나 있다.

### 5.2.2 볼트식 강관말뚝머리 부분에 대한 구조검토

볼트식 강관말뚝 머리보강에 대한 구조검토에서는 표 7에 나타나 있는 지진시의 하중조건만을 고려한다.

A. "말뚝머리부분에 작용하는 압축력, 인발력, 수평력 및 모멘트에 대해 저항할 수 있도록 검토

1) 확대기초 콘크리트의 수직지압응력,  $\sigma_{cv}$

$$\sigma_{cv} = \frac{P_{Nmax}}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{62.81(t)}{\frac{\pi}{4} \times 0.508^2(m^2)} = 31.0(kg/cm^2) \leq \sigma_{ca}' = 94.5(kg/cm^2) : O.K !$$

2) 확대기초 콘크리트의 수직인발전단응력,  $\tau_v$

$$\tau_v = \frac{P_{Nmax}}{\pi(D + h) h} = \frac{62.810(kg)}{\pi(50.8cm + 120cm) \times 120cm} = 0.95(kg/cm^2) \leq \tau_{a3}' = 12.8(kg/cm^2) : O.K !$$

3) 확대기초 콘크리트의 수평지압응력,  $\sigma_{ch}$

$$\sigma_{ch} = \frac{H}{D \cdot l} = \frac{10,540(\text{kg})}{(50.8\text{cm}) \times (10\text{cm})} = 20.75(\text{kg/cm}^2) \leq \sigma_{ca}' = 94.5(\text{kg/cm}^2) : \text{O.K!}$$

4) 확대기초 단부의 말뚝에 대한 확대기초 콘크리트의 수평압발(押拔)전단응력,  $\tau_h$

$$\tau_h = \frac{H}{h'(2l+D+2h')} = \frac{10,540(\text{kg})}{(44.6\text{cm})(2 \times 10\text{cm} + 50.8\text{cm} + 2 \times 44.6\text{cm})} = 1.48(\text{kg/cm}^2) \leq \tau_{as}' = 12.8(\text{kg/cm}^2) : \text{O.K!}$$

5) 원형뿔개판의 나사구멍과 부풀림 보강철근 나사산과의 전단응력,  $\tau_b$

$$\tau_b = \frac{P_{Nmax}}{n \cdot \pi \cdot d_{el} \cdot L_1} = \frac{62,810(\text{kg})}{8 \times \pi \times 2.3\text{cm} \times 2.2\text{cm}} = 493.9(\text{kg/cm}^2) \leq \tau_{a1} = 1,000(\text{kg/cm}^2) : \text{O.K!}$$

6) 지압이음용 고장력볼트의 수직전단응력,  $\tau_n$

$$\tau_n = \frac{P_{Nmax}}{n \cdot \left( \frac{\pi \cdot d_{e2}^2}{4} \right)} = \frac{62,810(\text{kg})}{8 \times \left( \frac{\pi \times 17.78^2 \text{cm}^2}{4} \right)} = 31.62(\text{kg/cm}^2) \leq \tau_{a2} = 1,500(\text{kg/cm}^2) : \text{O.K!}$$

7) 부풀림 보강철근의 정착장,  $L_o$

계산상  $L_o$ 는 71.93cm이지만, 본 특허품의  $L_o$ 는 철근 직경의 41배인 77.8cm(=85cm-2.2cm)를 사용하기로 한다.

B. 확대기초 콘크리트의 연직지압응력, 편칭전단응력, 수평지압응력 등에 대해 검토

1) 연직지압강도

$$V_u = 1.7 \times 62.81 = 106.8(t) < \phi_s S_n = 0.6 \times \left( 0.85 \times 240 \times \frac{\pi \times 50.8^2}{4} \right) \times 2 = 496.2(t) : \text{O.K!}$$

2) 수평지압강도

$$H_u = 1.7 \times 10.54 = 17.92(t) < \phi S_n = 0.6(0.85 \times 240 \times 10 \times 50.8) = 62.18(t) : \text{O.K!}$$

3) 편칭전단강도(가장 불리한 단면만 검토)

$$S_u = 1.7 \times 62.81 = 106.8(t) < \phi S_n = 0.7 \times 1.1 \times \sqrt{240} \times 489.5 \times 105 = 613.1(t) : \text{O.K!}$$

### 5.3 시험시공 결과

5.1절에서 언급한 시험시공 현장에서 얻은 결과를 표 8에 시공순서, 장단점, 시공성 및 적용성 그리고, 경제성으로 나타내었다.

표 8. 본 제안 방법의 시공순서, 장단점, 시공성 및 적용성 그리고 경제성

구분	볼트식 강관말뚝 두부보강 공법
시공 순서	<ul style="list-style-type: none"> <li>확대기초 저면에서 20cm를 남겨두고, 자동화 절단기로 강관말뚝머리 절단 → 4분 소요</li> <li>유압타공기로 강관말뚝 측면에 8개 볼트구멍 타공 → 30초 소요</li> <li>기성제품인 볼트식 강관말뚝 두부보강 덮개판을 강관내부에 삽입</li> <li>말뚝 측면에 고장력 볼트 조립 → 30초 소요</li> <li>확대기초 저면에서 10cm 버림 콘크리트 타설</li> <li>확대기초 하부 주철근과 배력철근 조립</li> <li>기성제품인 부풀림보강철근을 원형덮개판 나사구멍에 체결(8개)</li> <li>확대기초 잔여 철근 조립 및 콘크리트 타설</li> </ul>
공법 특징	<p>(장점)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>최첨단장비 사용 → 강관말뚝 절단</li> <li>기성 제품화 → 고품질 유지관리, 규격화</li> <li>볼트식 연결, 현장 용접 불필요, 확대기초 철근조립 용이 → 시공성 및 적용성 탁월</li> <li>기존 공법보다 경제적임</li> </ul> <p>(단점) - 없음 -</p>
시공성 및 적용성	<ul style="list-style-type: none"> <li>확대기초 하부 철근 조립시에 기성제품인 8개의 보강철근을 원형덮개판(12개의 나사)에 연결 → 적용성 및 시공성 탁월</li> <li>두부처리 시간(4~5분 정도/개) 비교 : 기존방법 (도로교시방서, 1983, B-TYPE) 보다 4배 이상 빠름 현행방법 (도로교시방서 1992, 1996 B-TYPE) 보다 10배 이상 빠름</li> </ul>
총 공사비	<ul style="list-style-type: none"> <li>저렴 : 강관말뚝 두부보강 및 선단 처리 비용(특허료 감한 총 공사비, D=406.4mm) = 209,756(원)/개 강관말뚝 두부보강 및 선단 처리 비용(특허료 감한 총 공사비, D=508.0mm) = 259,418(원)/개</li> </ul>

## 6. 결론

본 연구진이 개발한 볼트식(특허, 실용신안, 의장 및 상표, 신기술신공법 특허 출원중, 1997 ; 국제특허 출원준비중)과 기존(도로교시방서 1983, 1992, 1996, B-TYPE)의 강관말뚝 머리보강 방법과의 안정성, 시공성 및 적용성 그리고, 경제성을 알아보기 위하여, 실내시험과 현장시험한 결과는 다음과 같다.

1. 구조검토와 인장시험 결과로, 강관말뚝 직경, D=406mm인 경우에는 80(ton)을 그리고 D=508mm인 경우에는 100(ton)을 저항할 수 있도록 볼트식 강관말뚝 두부보강 덮개판을 다음 표와 같이 제안한다.

강관말뚝	이형철근				원형 덮개판		십자 보강판		고장력 볼트	
	부풀림나사	직경(mm)	길이(mm)	최소 수	두께(mm)	구멍수	두께(mm)	길이(mm)	직경	갯수
406.4	M24 3P	19	650	8	22	12	22	190	16(mm)	8
508.0	M24 3P	19	800	8	22	12	25	190	3/4(inches)	8

2. 볼트식 강관말뚝 머리보강에 대한 새로운 설계방법을 제안하였으며, 이를 시험시공 현장인 가교 1교 교대의 강관말뚝 머리보강 구조검토한 결과, 안전하게 계산되었다.

3. 볼트식 강관말뚝 머리보강 덮개판은 기성제품이며, 현장에서 용접하는 기존 방법보다 품질이 우수하며, 규격화로 시공할 수 있다. 그리고 하나의 강관말뚝을 머리정리 및 보강하는데 소요되는 시간을 비교하면, 제안방법(4~5분/개)이 도로교표준시방서방법(1992, 1996년)(40~50분/개)보다 10배 이상 그리고 도로교표준시방서방법(1983년)(20~30분/개) 보다 4배 이상 작업시간을 단축시킬 수 있으므로 시공성이 매우 좋았다.

4. 도로교표준시방서방법은 확대기초 철근조립 전에 보강철근 12개를 설치하므로 확대기초 철근조립이 매우 힘들지만, 본 방법은 확대기초 하부 철근조립을 한 후에 8개의 부풀림 보강철근을 강관말뚝 덮개 판에 조립하므로 현장 적용성이 매우 좋았다.

5. 총 공사비로 대비해 보면, 제안방법이 도로교표준시방서방법(1983년)보다 개당 평균 50% 정도 절감되었고, 도로교표준시방서방법(1992, 1996년)보다 평균 8.3% 정도가 절감되었다.

## 참고문헌

1. 건설부(1983), “도로교표준시방서”, 서울, pp.1155~1165.
2. 건설부(1990), “철근콘크리트 표준시방서”, 서울, pp.130~131.
3. 건설부(1990), “철근콘크리트 설계편람”, 서울, p.476~478.
4. 건설부(1996), “도로교표준시방서”, 서울, pp.720~724.
5. 변동균(1986), “철근콘크리트”, 동명사, 서울, p.180.
6. 한국지반공학회(1997), “깊은기초”, 구미서관, 서울, pp.300~317.
7. Tomlinson, M. J.(1994), *Pile Design and Construction Practice*, E & FN SPON, London, pp. 280~281.