

# 볼트식 강관말뚝 머리보강 방법

Bolted Bonding Method of Steel Pipe File and Cap

박 영 호\*<sup>1</sup>

Park, Young - Ho

김 성 환\*<sup>2</sup>

Kim, Sung - Hwan

장 용 채\*<sup>3</sup>

Chang, Yong - Chai

---

## Abstract

Present bonding methods which connect steel pipe and spread footing in pile foundation have been generally used. These methods however showed lots of difficulties in the quality control. A new bonding method, which is called "Bolted Bonding Method(BBM)", is developed. This method uses factory-made parts so that it may increase the degree of quality, and workability, and is being adopted in the field concerned.

The method is verified by the structural analysis and laboratory test and then a new design formula is proposed. In addition, a comparison test of the present methods and BBM are conducted to observe the applicability and economy of the latter.

As results, it is observed that BBM shows 5 to 10 times faster in field work and 9% to 50% cheaper in construction cost than the existing methods.

## 요 지

기존의 강관말뚝 머리보강 방법은 대부분 현장제작, 인력으로 강관말뚝을 절단, 그리고 현장용접을 하는데, 이를 각각 공장제작, 자동으로 강관말뚝을 절단, 그리고 볼트조임으로 대체한 볼트식 강관말뚝 머리보강 방법(Bolted Bonding Method ; BBM)을 개발하여 현재 사용 중에 있다.

구조검토와 실내시험으로 부터, 볼트식 강관말뚝 머리보강에 대한 설계 및 구조검토 식을 제안하며, 현장 시공성과 경제성을 비교하기 위하여 기존과 볼트식 강관말뚝 머리보강 방법을 고속도로 교량기초에 적용하였다.

시험결과로부터, 공장제품을 사용하는 볼트식 방법은 현장에서 용접하는 기존 방법보다 품질 관

---

\*1 정회원, 한국도로공사 도로연구소 지반연구실 책임연구원

\*2 정회원, 한국도로공사 도로연구소 전문연구실 부실장

\*3 정회원, 한국도로공사 도로연구소 지반연구실 수석연구원

리가 용이할 뿐만 아니라 5~10배 이상 작업시간을 단축시킬 수 있었다. 그리고 8개 보강철근을 사용하는 볼트식 방법이 12개를 설치하는 기존의 방법보다 확대기초 철근조립이 매우 용이하였다. 또한 볼트식 방법은 용접 방법보다 말뚝 개당 평균 50%, 그리고 속채움 콘크리트 방법보다 평균 9%의 공사비가 절감되었다.

Keywords : Bolted bonding method, Factory-made parts, New design formula, Screw bolt, Spread footing, Steel pipe pile

## 1. 서 론

기존의 강관말뚝과 확대기초를 연결하는 방법 즉, 강관말뚝 머리보강 방법(도로교표준시방서방법, 1983년; 이하 “용접 방법”, 1992년; 이하 “속채움 콘크리트 방법”이라 함)은 대부분 현장용접을 하기 때문에 현장 품질관리가 부적절한 경우에는 규정된 강관말뚝 머리보강을 기대할 수 없다.

이러한 점을 감안하여, 기존방법에서 사용하던 현장용접작업을 완전히 없애고, 각 부분의 연결을 볼트로 처리하며, 강관말뚝 머리보강에 관련된 부분을 공장에서 만들어서 현장에 적용하므로써 공기단축과 현장 적용성 향상, 품질규격화, 그리고 경제적으로 강관말뚝 머리보강을 할 수 있다는 점에 착안된 새로운 방법인 “볼트식 강관말뚝 머리보강 방법(이하 “볼트식 방법”이라 함)”을 개발하게 되었다.

이 연구에서는 볼트식 방법에 대한 구조검토와 실내시험 결과로부터 설계방법을 제시하고, 기존 방법과 볼트식 방법을 고속도로 교량기초에 적용하여 이들의 현장 적용성 및 시공성을 서로 비교하고자 한다.

## 2. 말뚝과 확대기초 결합 방법

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 말뚝

머리 고정 즉, 강결합으로 설계하는 것을 원칙으로 한다. 그 이유는 말뚝머리 고정으로 설계하면 수평변위량에 따라 설계가 지배되는 경우에 유리하고, 부정정차수가 크기 때문에 내진상의 안정성이 높다고 할 수 있는 점 등이다.

말뚝과 확대기초의 결합법은 그림 1과 같이, “방법 A”와 “방법 B”가 있다. “방법 A”는 말뚝머리부를 확대기초 속에 말뚝지름 정도를 매입하여 말뚝머리 강결조건을 만족시키는 방법이다. “방법 B”는 말뚝머리부를 확대기초 속에 10cm 정도를 매입하고 말뚝본체에 생기는 설계모멘트를 주로 보강철근이 저항하도록 하는 방법이다(건설부, 1983). 우리나라에서 교량기초에 적용하는 말뚝과 확대기초의 결합방법은 “방법 B”이다.

## 3. 기존의 강관말뚝 머리보강 방법

기존의 강관말뚝 머리보강 방법(방법 B)에

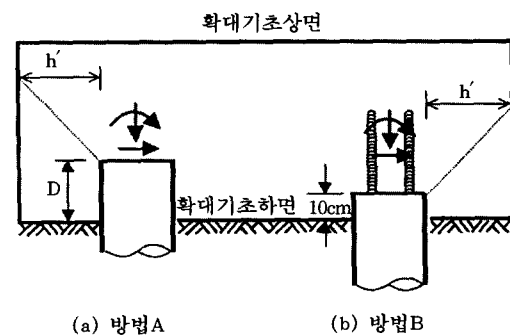


그림 1. 말뚝과 확대기초의 결합방법

대한 시공성 및 경제성을 비교하면 다음과 같다.

### 3.1 '83년 도로교표준시방서(용접 방법)

#### 3.1.1 시공순서

- ① 그림 2와 같이, 확대기초 저면에서 20cm를 남겨두고 인력으로 강관말뚝 머리를 절단한다.
- ② 확대기초 저면에서 10cm 정도의 버림 콘크리트를 타설한다.
- ③ 십자보강판을 삽입하여 강관말뚝 내부와 용접한다.
- ④ 원형뿔개판과 강관말뚝 머리를 서로 용접한다.
- ⑤ 12개의 보강철근을 길이 700mm(D = 406.4mm) 또는 850mm(D = 508mm) 중 50mm 만 강관말뚝 머리외부 측면둘레에 필렛용접한다.
- ⑥ 확대기초 철근조립 및 콘크리트를 타설한다.

#### 3.1.2 시공성 및 경제성

용접 방법은 현장용접으로 인해 용접불량이 많이 발생하고, 12개의 보강철근을 강관말뚝 머리외부 측면부분에 용접하여 고정시키므로

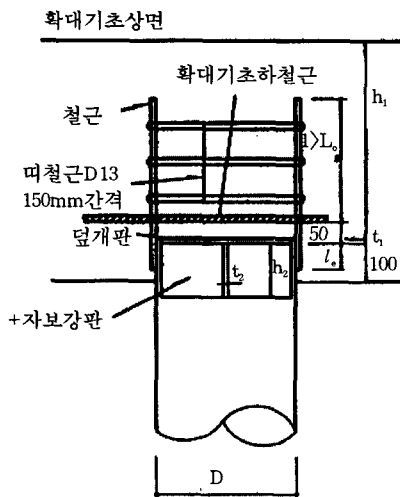


그림 2. 83년 도로교표준시방서(용접 방법)

확대기초 철근 배치 및 조립하기가 어렵다. 작업하기 좋은 지반조건에서의 머리보강 작업시간은 20~30분/개 정도 소요되며, 머리보강 비용은 약 470,000원이다.

### 3.2 '92년 도로교표준시방서(속채움 콘크리트 방법)

#### 3.2.1 시공순서

- ① 그림 3과 같이, 확대기초 저면에서 20cm를 남겨두고, 인력으로 강관말뚝 머리를 절단한다.
- ② 확대기초 저면에서 10cm 정도의 버림 콘크리트를 타설한다.
- ③ 2열의 속채움 콘크리트 미끄럼 방지턱을 강관내부 전둘레에 필렛용접한다.
- ④ 절단된 말뚝머리에서 말뚝내부 1.0m 아래에 4개의 합판 걸림턱을 필렛용접한다.
- ⑤ 2열의 미끄럼 방지턱의 틈을 통해 합판을 걸림턱 위에 올려 놓는다.
- ⑥ 속채움 보강철근 망을 강관말뚝 내부에 삽입한다.
- ⑦ 속채움 보강철근 망을 합판걸림턱에서 10cm 만큼 띄운 상태에서 콘크리트를 타설한다.
- ⑧ 확대기초 철근조립 및 콘크리트를 타설한다.

#### 3.2.2 시공성 및 경제성

속채움 콘크리트 방법에서, 강관말뚝 머리를 절단한 부분에서 말뚝 내부 1.0m 아래에 대칭으로 4개의 합판걸림턱 필렛용접과 2열의 미끄럼 방지턱을 강관말뚝 내부 전둘레에 필렛용접하는 것은 너무 힘들 뿐만 아니라 많은 시간이 소요된다.

또한 12개의 보강철근 망을 강관말뚝 속에 넣어 콘크리트로 고정시킨 상태에서 확대기초 철근을 조립하는 것은 너무 힘이 들고 어렵다. 그리고 작업하기 좋은 지반조건에서의 머리보강 작업시간은 40~50분+(속채움 콘크리트 양

생기간)/개 정도 소요되며, 머리보강 비용은 약 260,000원이다.

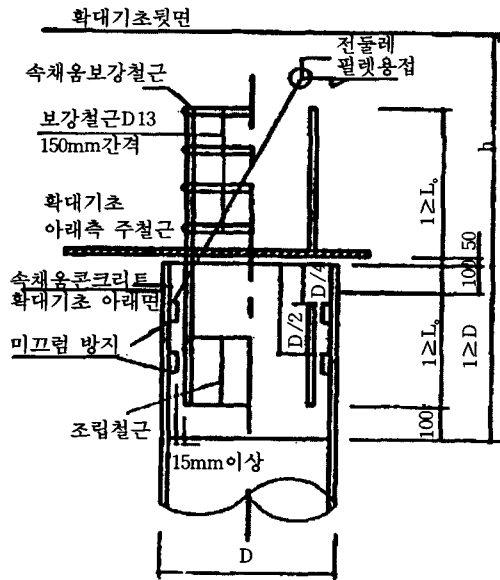


그림 3. 92년도 도로교표준시방서(속채움 콘크리트 방법)

#### 4. 볼트식 강관말뚝 머리보강 방법

##### 4.1 공장제품

볼트식 방법(방법 B)에 사용하는 공장제품은 볼트식 십자보강 덮개판, 부풀림 보강철근, 그리고 지압이음용 고장력 볼트와 너트이다.

그림 4와 같이, 공칭직경,  $d_2 = 19\text{mm}$ (공칭단면적,  $A_n = 2.865\text{cm}^2$ )의 이형철근 단부분을 압축시키면 바깥지름,  $d_2 = 24\text{mm}$ 로 늘어나는데, 이 부분에 2mm 골 깊이로 나사(유효지름  $d_2 = 23\text{mm}$ )를 낸 것을 “부풀림 보강철근”이라고 한다. 이 철근은 말뚝머리에 작용하는 모멘트 즉, 말뚝본체에 생기는 설계모멘트를 주로 저항하는 역할을 한다. 그리고 이형철근인 부풀림 보강철근의 인장강도,  $\sigma_w = 4,500(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 이다.

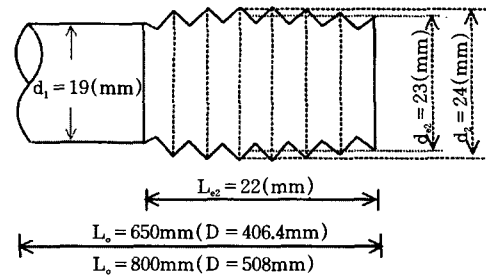


그림 4. 부풀림 보강철근(M24 B10.9T, 3.0P)의 제원

##### 4.1.2 볼트식 십자보강 덮개판

볼트식 십자보강 덮개판은 말뚝머리에 작용하는 하중을 등분포시키는 역할을 하며, 이의 구성은 “십자(+)보강판”과 “원형덮개판”으로 이루어져 있으며, 이들은 서로 공장 용접되어 있다(그림 5 참조). 그러나 용접 방법에서는 두 판이 서로 분리된 상태로 말뚝머리를 보강한다.

공장에서 만든 원형덮개판에 총 12개의 나사구멍(바깥지름,  $d_2 = 24\text{mm}$ )을 내어, 확대기초 하부철근 조립과 더불어 8개의 부풀림 보강철근을 설치하기 때문에 볼트식 방법은 기존 방법보다 확대기초 철근조립이 매우 용이하다.

그리고 십자보강판의 각 측면에 2개씩 총 8개의 나사구멍이 나 있으며, 이 나사구멍과 강관말뚝 머리부분의 타공(총 8개) 위치와 일치시켜 고장력 볼트로 체결한다.

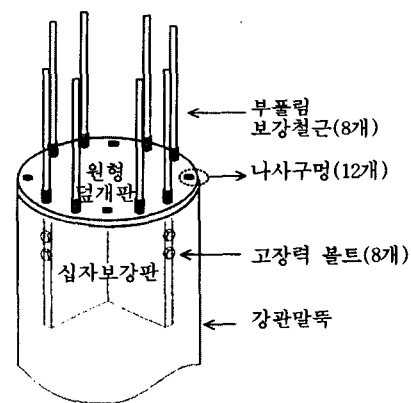


그림 5. 부풀림 보강철근 설치장면

#### 4.1.3 M24 B10.9T 지압이음용 고장력 볼트와 너트

고장력 볼트와 너트는 십자보강판과 강관말뚝 머리부분을 서로 연결시키며, 말뚝머리에 작용하는 등분포 하중을 강관말뚝에 전달시키는 역할을 한다. 강관말뚝 직경,  $D = 406.4\text{mm}$ 인 경우의 고장력 볼트 유효지름,  $d_w = 15.25\text{mm}$ 이고,  $D = 508\text{mm}$ 인 경우에는  $d_w = 17.78\text{mm}$ 이다. 그리고 볼트길이,  $L = 40\text{mm}$ 이며 인장강도,  $\sigma_w = 8,000(\text{kg}/\text{cm}^2)$ 이다.

#### 4.2 시공 장비

볼트식 강관말뚝 머리보강을 하는데 필요한 장비는 자동절단기와 유압타공기 그리고 임팩트 런치이다.

##### 4.2.1 자동절단기

강관말뚝을 정밀하게 절단하여야 공장제품인 십자보강 덮개판과 강관말뚝의 타공구멍과 일치시킬 수 있다. 따라서 자동절단기는 강관말뚝 머리부분에 산소절단기를 설치하여 자동으로 강관말뚝을 절단하는 장비이며, 자동절단 소요시간은 1분 30초 정도이다.

##### 4.2.2 유압타공기

자동절단기로 강관말뚝 머리부분을 절단한 후에 타공위치를 표시할 수 있는 유도기를 강관말뚝에 끼우고, 유도기의 구멍에 정으로 8개의 타공위치를 표시한다. 그 다음, 유압타공기를 사용하여 강관말뚝 직경 508mm인 경우에는 직경 22mm의 타공구멍을 그리고 직경 406.4mm인 경우에는 18mm 타공구멍을 낸다.

#### 4.3 구조 계산

말뚝머리에 작용하는 하중은 말뚝 본체를 통해 양질의 지지층으로 전달한다. 이때 말뚝머리를 보강하지 않으면 말뚝 순두께의 단면적이 말뚝머리 하중을 지탱하므로 말뚝머리 콘크리트 부분에 응력집중이 발생하여 확대기초 콘

크리트에 부담을 주게 된다. 따라서 말뚝머리에 작용하는 하중을 충분히 견딜 수 있게 말뚝머리를 보강하여야 한다.

볼트식 방법의 하중저항은 압축력보다는 인발력에 취약하므로 구조검토를 인발력에 대해서만 한다. 그림 6에 나타나 있듯이, 부풀림한 보강철근 부분과 부풀림하지 않은 보강철근 부분이 인장력에 의해 파괴될 때의 인장강도, 부풀림 보강철근 나사와 원형덮개판 나사구멍과의 경계면에서 발생하는 부풀림 보강철근 나사산의 인발전단강도, 그리고 강관말뚝 머리 측면부분에 있는 고장력 볼트 축직각방향에 대한 볼트의 전단강도를 계산하여 볼트식 강관말뚝 머리보강 덮개판의 재원을 결정한다.

##### 4.3.1 부풀림하지 않은 이형철근의 인장강도

이형철근(SD30)의 직경과 길이는 각각 19mm와 650mm( $D = 406.4\text{mm}$ ) 또는 19mm와 800mm( $D = 508\text{mm}$ )이다. 이 단면이 인장력에 의해 파괴될 때의 인장강도는 식(1)과 같고, 보강철근 수에 따른 인장강도,  $S_{u1}$ 은 그림 7에 나타나 있다.

$$S_{u1} [\text{ton}] = (n \cdot A_{s1}) \times \sigma_w = 12.9 \times n \quad (1)$$

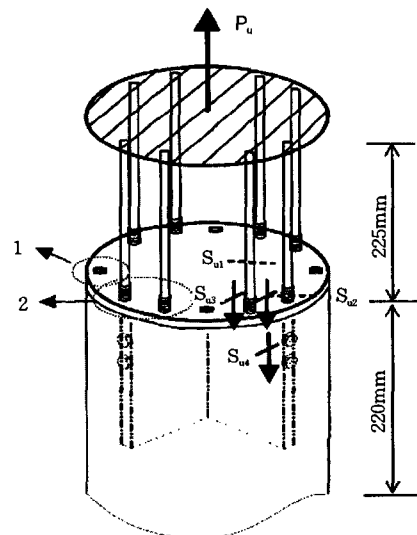


그림 6. 구조검토 부분과 볼트식 강관말뚝 머리보강 인장시험 시편의 크기

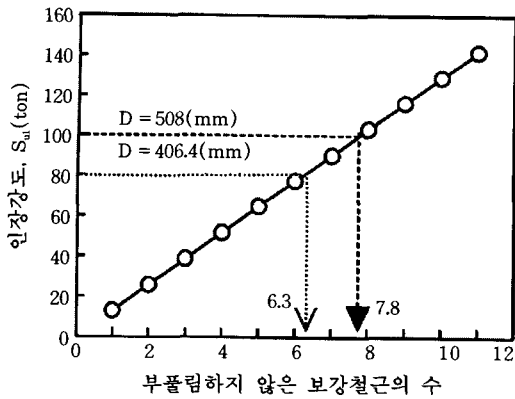


그림 7. 부풀림하지 않은 이형철근의 인장강도

#### 4.3.2 부풀림된 부분의 이형철근 인장강도

작용하는 모든 외력에 대해 안정하면서 부풀림 안된 보강철근 부분에서 파괴를 유도하기 위하여, 그림 4와 같이 보강철근 한쪽 부분의 단면적을 증가시켰다. 증가된 단면에서 인장력에 의해 파괴된다고 가정하였을 때의 인장강도는 식(2)와 같고, 부풀려진 보강철근 수에 따른 인장강도는 그림 8과 같다.

$$S_{u2} [\text{ton}] = n \cdot \left(\frac{\pi}{4} d_w^2\right) \cdot \sigma_{us} = 18.7 \times n \quad (2)$$

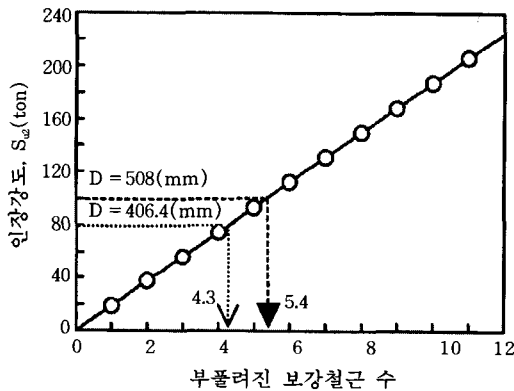


그림 8. 부풀려진 이형철근의 인장강도

#### 4.3.3 부풀림 보강철근 나사산의 전단강도

부풀림 보강철근 나사 수에 따른 원형덮개판 나사구멍의 경계면에서 발생하는 인발전단

강도는 식(3)과 그림 9에 나타나 있다.

$$S_{u3} [\text{ton}] = (n \cdot U) \times \tau_u = (n \times \pi \times d_{e2} \times L_{e2}) \cdot (0.6 \times \sigma_u) = 42.9 \times n \quad (3)$$

여기서,

U: 부풀림 보강철근 나사산의 둘레

$\tau_u$ : 부풀림 보강철근 나사산의 전단강도  
=  $0.6 \times \sigma_{us}$

$L_{e2}$ : 부풀림 보강철근 나사가 원형덮개판 나사구멍에 삽입되는 길이 = 2.2cm

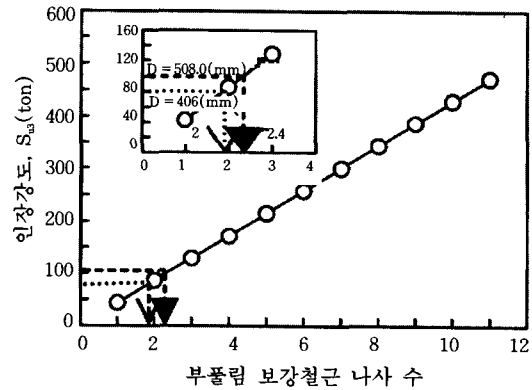


그림 9. 부풀림 보강철근 나사산의 인발전단강도

#### 4.3.4 고장력 볼트의 전단강도

강관말뚝 직경,  $D = 406.4\text{mm}$ 와  $D = 508\text{mm}$ 에 체결하는 고장력 볼트의 직경은 각각 16mm와 19mm이며, 볼트 수에 따른 고장력볼트 축직각방향에 대한 볼트의 전단강도는 식(4)와 그림 10에 나타나 있다.

$$S_3 = n \cdot A_{s3} \cdot \tau_u = n \cdot \left(\frac{\pi}{4} \times d_s^2\right) \cdot (0.6 \times \sigma_{ub}) \quad (4)$$

여기서

$A_{s3}$ : M24 B10.9T 지압이음용 고장력 볼트의 유효단면적

$\sigma_{ub}$ : 고장력볼트의 인장강도 =  $8,000(\text{kg/cm}^2)$

말뚝상단 콘크리트의 필요두께에 해당하는

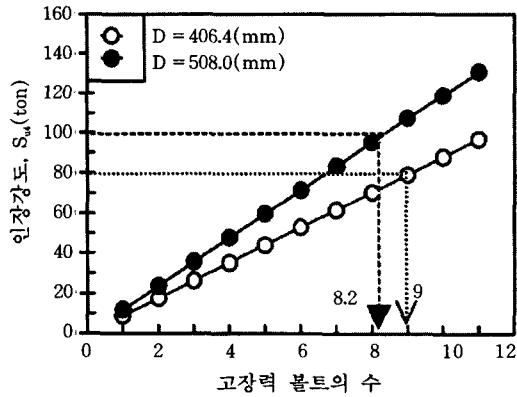


그림 10. M24 B10.9T 지압이음용 고장력볼트의 전단강도

최대압축력, R은 강관말뚝 직경, D = 406.4mm인 경우에는 80ton 그리고 직경, D = 508mm인 경우에는 100ton이다(한국도로공사, 1997). 이 최대압축력이 최대인장력으로 작용한다고 가정하여 구한 볼트식 강관말뚝 머리보강 방법의 제원은 다음과 같다(그림 7~10 참조). 여기서 실수는 가장 가까운 정수로 취한다.

- ① 부풀림하지 않은 보강철근 개수는 6개(D = 406.4mm)와 8개(D = 508mm)이다.
- ② 부풀림한 보강철근 개수는 4개(D = 406.4mm)와 5개(D = 508mm)이다.
- ③ 부풀림 보강철근 나사 개수는 2개(D =

406.4mm)와 2개(D = 508mm)이다.

- ④ 고장력 볼트의 수는 8개(D = 406.4mm)와 9개(D = 508mm)이다.

## 5. 실내시험

### 5.1 시편 크기

4.3절의 구조검토 결과로부터 만든 볼트식 강관말뚝 머리보강의 시편 제원은 표 1과 같다. 설계시, 강관말뚝 직경 D = 406.4mm와 D = 508mm인 경우의 부풀림 보강철근 길이는 각각 650mm와 800mm이지만 만능시험기(U.T.M.)의 세로방향 길이 때문에 부풀림 보강철근의 길이가 만 225mm로 줄여서 시편을 만들었다. 그 외의 시편제원은 실험크기와 동일하다.

### 5.2 인장시험

볼트식 강관말뚝 머리보강은 압축보다 인장에 약하므로, 표 1과 같은 시편에 대해 부풀림 보강철근의 수를 변화시키면서 만능시험기로 인장시험한 결과는 그림 11에 나타나 있다.

이 그림에서, 말뚝 상단 콘크리트의 필요두께에 해당하는 최대압축력, R은 강관말뚝 직경, D = 406.4mm인 경우에는 80ton 그리고 직

표 1. 볼트식 강관말뚝 머리보강 시편의 제원

강관말뚝			부풀림 보강철근			볼트식 십자보강 덮개판				고장력볼트	
						원형덮개판		십자보강판			
직경 D(mm)	두께 t(mm)	길이 L(mm)	직경 d <sub>1</sub> (mm)	길이 L <sub>o</sub> (mm)	개수 (n)	두께 t(mm)	구멍수 (n)	두께 t(mm)	길이 (mm)	직경 d <sub>s</sub> (mm)	개수 (n)
406.4	9	220	19	225	변화	22	12	22	190	16	8
508.0	9	220	19	225	변화	22	12	25	190	19	8

표 2. 볼트식 강관말뚝 머리보강의 제원

강관말뚝		부풀림 보강철근			볼트식 십자보강 덮개판				고장력볼트	
					원형덮개판		십자보강판			
직경 D(mm)	나사	직경 d <sub>1</sub> (mm)	길이 L <sub>o</sub> (mm)	개수 (n)	두께 t(mm)	구멍수 (n)	두께 (mm)	길이 (mm)	직경 d <sub>s</sub> (mm)	개수 (n)
406.4	M24 3P	19	650	8	22	12	22	190	16	8
508.0	M24 3P	19	800	8	22	12	25	190	20	8

경, D = 508mm인 경우에는 100ton에 상응하는 부풀림보강철근의 수는 8개임을 알았다. 그리고 볼트식 머리보강 시편에 대한 실내인장시험 결과가 이 최대압축력에 저항할 수 있는 볼트식 방법의 제원은 표 2와 같다.

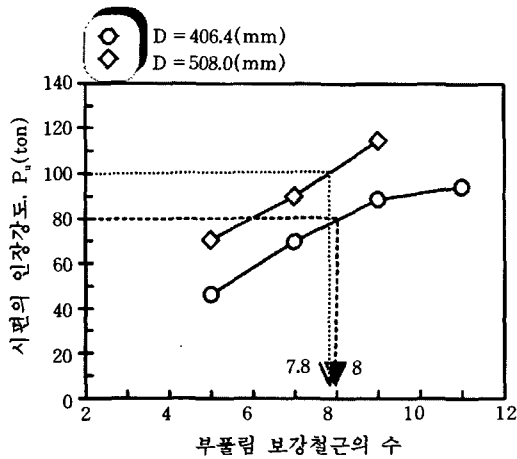


그림 11. 볼트식 강관말뚝 머리보강 시편의 인장시험 결과

## 6. 볼트식 강관말뚝 머리보강 설계

### 6.1 개요

교량기초의 말뚝과 확대기초의 결합부는 강결로 설계하고, 말뚝머리 부분에 작용하는 압입력, 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. 철근으로 말뚝머리를 보강하는 “방법 B”의 경우에는 철근 콘크리트 단면을 가정하고 콘크리트 및 철근의 응력을 검토한다.

말뚝머리 결합부에 있어서 외력의 전달은 다음과 같이 생각할 수 있다(그림 12 참조).

- ① 압입력 또는 인발력에 대해서는, 말뚝주면과 확대기초 콘크리트의 전단저항 또는 말뚝머리부에 대한 확대기초 콘크리트의 지압저항에 의해 지지시킨다.

- ② 수평력에 대해서는, 매입된 말뚝의 주변에서 확대기초 콘크리트의 지압저항에 의해 지지시킨다.
- ③ 휨모멘트에 대해서는, 결합용 철근을 포함한 가상철근콘크리트 기둥의 휨저항에 의해 지지시킨다.

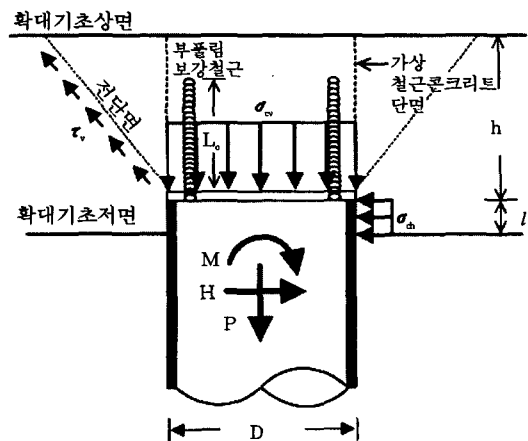


그림 12. 방법 B에 의한 결합

볼트식 강관말뚝 머리보강 설계 식은 다음과 같이 나누어 사용한다. 확대기초 콘크리트에 대해서는 용접 방법의 식을 사용하고, 볼트식 방법의 공장제품에 대해서는 이 연구에서 새로 제안하는 식(9)와 (11)을 사용한다.

- 6.2 말뚝머리부분에 작용하는 압입력, 인발력, 수평력 및 모멘트에 대해 저항할 수 있는지 검토(허용응력설계법)

- 1) 확대기초 콘크리트의 수직지압응력,  $\sigma_{cv}$

$$\sigma_{cv} = \frac{P_{Nmax}}{\frac{\pi}{4} D^2} \leq \sigma_{ca} \quad (5)$$

여기서

$\sigma_{ca}$ : 콘크리트의 설계기준강도 = 240(kg/cm<sup>2</sup>)

[교량기초인 경우]

$\sigma_{ca}$ : 콘크리트의 허용지압응력 = 0.25 $\sigma_{ck}$ (kg/cm<sup>2</sup>)(표 3 참조)



$P_{Nmax}$ :상시와 지진시, 각 말뚝머리에 작용하는 가장 큰 수직력(kg)

표 3. 확대기초의 허용지압응력,  $\sigma_{ca}$ (kg/cm<sup>2</sup>)

상 시	$\sigma_{ca}$	60
지진시	$1.35\sigma_{ca}$	81

여기서,  $\sigma_{ca} = 240$ (kg/cm<sup>2</sup>)

식(5)로부터, 각 말뚝머리에 작용하는 가장 큰 수직력,  $P_{Nmax}$ 은 확대기초 콘크리트의 허용수직지압력,  $P_{Nb}$ 보다 작아야 하고,  $P_{Nb}$ 은 표 4와 같다.

$$\text{상시} : P_{Nmax} \leq P_{Nb} = \sigma_{ca} \times \frac{\pi}{4} D^2 = 47.12 \times D^2$$

$$\text{지진시} : P_{Nmax}' \leq P_{Nb}' = 1.35 \times P_{Nb}$$

표 4. 확대기초의 허용수직지압력,  $P_{Nb}$ (ton)

강관말뚝 직경, D(mm)	406.4	508.0
상 시	77.8	121.6
지진시	105	164.2

2) 확대기초 콘크리트의 수직압발전단응력,  $\tau_v$

$$\tau_v = \frac{P_{Nmax}}{\pi(D+h)h} \leq \tau_{a3} \quad (6)$$

여기서

$\tau_{a3}$  : 상시와 지진시, 콘크리트의 허용수직압발(押拔)전단응력(kg/cm<sup>2</sup>)(표 5 참조)

h : 확대기초의 유효두께(cm)

표 5. 확대기초의 허용수직압발전단응력,  $\tau_{a3}$ (kg/cm<sup>2</sup>) (건설도서, 1988)

콘크리트의 설계기준강도, $\sigma_{ck}$	210	240	270	300	
허용압발	상시( $\tau_{a3}$ )	8.5	9	9.5	10
전단응력	지진시( $1.35\tau_{a3}$ )	11.5	12.2	12.8	13.5

식(6)으로부터, 각 말뚝머리에 작용하는 가장 큰 수직력,  $P_{Nmax}$ 은 확대기초 콘크리트의 허용수직압발전단력,  $P_{Nb}$ 보다 작아야 한다.

$$\text{상시} : P_{Nmax} \leq P_{Nb} = \tau_{a3} \times \pi(D+h)h$$

$$\text{지진시} : P_{Nmax}' \leq P_{Nb}' = 1.35 \times P_{Nb}$$

여기서 강관말뚝 상단 콘크리트의 최대두께는 강관말뚝 직경  $D = 406.4$ mm인 경우는  $h = 64$ cm로,  $D = 508$ mm인 경우에는  $70$ cm로 가정하여 구한 확대기초 콘크리트의 허용수직압발전단력,  $P_{Nb}$ 은 표 6과 같다(한국도로공사, 1994).

표 6. 확대기초의 허용수직압발전단력,  $P_{Nb}$ (ton)

강관말뚝 직경, D(mm)	406.4	508.0
상 시	189.3	239.1
지진시	255.6	322.8

3) 확대기초 콘크리트의 수평지압응력,  $\sigma_{ch}$

$$\sigma_{ch} = \frac{P_{Hmax}}{D \cdot l} \leq \sigma_{ca} \quad (7)$$

여기서

$P_{Hmax}$  : 최대 말뚝축직각방향력(kg)

l : 말뚝이 확대기초에 매입되는 길이 = 10(cm)

식(7)로부터, 각 말뚝머리에 작용하는 가장 큰 수평력,  $P_{Hmax}$ 은 허용수평지압력,  $P_{Hb}$ 보다 작아야 하며, 그 값은 표 7에 나타나 있다.

$$\text{상시} : P_{Hmax} \leq P_{Hb} = \sigma_{ca} \times (D \cdot l) = 600 \times D$$

$$\text{지진시} : P_{Hmax}' \leq P_{Hb}' = 1.35 \times P_{Hb}$$

표 7. 확대기초의 허용수평지압력,  $P_{Hb}$ (ton)

강관말뚝 직경, D(mm)	406.4	508.0
상 시	24.4	30.5
지진시	32.9	42.5

4) 확대기초 단부 말뚝에 대한 수평압발전단응력,  $\tau_h$

$$\tau_h = \frac{P_{Hmax}}{h'(2l + D + 2h')} \leq \tau_{a3} \quad (8)$$

여기서

$h'$  : 수평방향의 압발전단에 저항하는 확대기초의 유효두께(cm)[그림 1 참조]

식(8)로부터, 확대기초 단부의 말뚝에 대한 확대기초의 허용수평압발전단력,  $P_{Hb}$ 은 다음과 같다.

상시:  $P_{Hmax} \leq P_{He} = \tau_{as} \times h' (2l + D + 2h') = 405 \times (110 + D)$

지진시 :  $P_{Hmax}' \leq P_{He}' = 1.35 \times P_{He}$

여기서  $h' = 45(\text{cm})$ 로 가정하여 구한 확대기초 단부말뚝의 허용수평압발전단력,  $P_{He}$ 은 표 8과 같다.

표 8. 확대기초 단부말뚝의 허용수평압발전단력,  $P_{He}(\text{ton})$

강관말뚝 직경, D(mm)	406.4	508
상 시	61.0	65.1
지진시	82.4	87.9

5) 철근정착

① 부풀림 보강철근 나사산의 허용전단응력,  $\tau_{s1}$

$$\tau_{s1} = \frac{\sigma_{sa1} \cdot A_{st}}{\pi \cdot d_{e2} \cdot t} \leq \tau_{sa1} \quad (9)$$

여기서

- $\sigma_{sa1}$  : 철근의 허용인장응력(kg) = 1,500(kg)
- $A_{st}$  : 부풀림 보강철근 나사산의 유효단면적 (cm)(표 9 참조)
- $\tau_{sa1}$  : 부풀림보강철근 나사산의 허용전단응력(kg/cm<sup>2</sup>) = 1,000(kg)
- $d_{e2}$  : 부풀림보강철근 나사산의 유효직경 (cm)(표 10 참조)
- $t$  : 볼트식 원형덮개판의 두께(cm) = 2.2

표 9. 이형철근의 표준치수

강관말뚝 직경, D(mm)	406.4	508	609.6	812.8
이형철근의 직경, (mm)	D19	D19	D22	D22
이형철근의 공칭지름, $d_i(\text{mm})$	19.1	19.1	22.2	22.2
이형철근의 공칭단면적, $A_{st}(\text{cm}^2)$	2.865	2.865	3.871	3.871
이형철근의 공칭둘레, U(cm)	6	6	7	7

표 10. 부풀림보강철근 나사산의 유효직경,  $d_{e2}(\text{cm})$

강관말뚝 직경, D(mm)	406.4	508	609	812.8
나사산의 유효직경, $d_{e2}(\text{cm})$	2.3	2.3	2.7	2.7

② 부풀림 보강철근의 필요정착장,  $L_0$ .

$$L_0 = \frac{\sigma_{sa1} A_{st}}{\tau_{os} U} \quad (10)$$

일반적으로,  $L_0 \geq 35d$ 로 하는 것이 좋다(그림 12 참조).

여기서

- $\sigma_{sa1}$  : 이형철근의 허용인장응력(SD30)
- $A_{st}$  : 이형철근의 공칭단면적(cm<sup>2</sup>)
- $U$  : 이형철근의 공칭둘레길이(cm)
- $\tau_{os}$  : 콘크리트의 허용부착응력(kg/cm<sup>2</sup>)  
=  $0.64 \sqrt{\sigma_{ck}} = 0.64 \times \sqrt{240} = 9.9(\text{kg/cm}^2)$

6) 지압이음용 고장력볼트의 허용전단응력,  $\tau_{s2}$

$$\tau_{s2} = \frac{\tau_{sa2} \cdot \pi \cdot d_{e3}^2}{8 \cdot b \cdot l_b} \leq \sigma_{sa2} \quad (11)$$

여기서

- $\tau_{sa2}$  : M24 B10.9T 지압이음용 고장력볼트의 허용전단응력 = 1,900(kg/cm<sup>2</sup>)
- $d_{e3}$  : 고장력볼트 나사의 유효직경(cm)(표 11 참조)
- $l_b$  : 고장력볼트의 유효길이(cm) = 3(cm)
- $b$  : 고장력볼트 나사 한측면의 연단거리 (표 12 참조)
- $\sigma_{sa2}$  : SWS400 강관의 축방향 허용인장응력 = 1,400(kg/cm<sup>2</sup>)

표 11. 고장력볼트 나사의 유효직경,  $d_{e3}(\text{mm})$

강관말뚝 직경, D(mm)	406.4	508
유효직경, $d_{e3}(\text{mm})$	15.25	17.78

표 12. 고장력볼트 나사 한측면의 연단거리, b(mm)

강관말뚝 직경, D(mm)	406.4	508
유효직경, b(mm)	8	7

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

8) 가상철근콘크리트 단면의 응력

계산은 상시와 지진시에 생기는 외력에 대해서 실시하고, 인발력(말뚝머리에 작용하는

최대 인발하중,  $P_U$  또는 최소수직력,  $P_{Nmin}$ )과 말뚝본체에 생기는 설계모멘트(M) 그리고, 압입력(말뚝머리에 작용하는 최대수직력,  $P_{Nmax}$ )

과 말뚝본체에 생기는 설계모멘트(M)가 작용하는 철근 콘크리트 단면을 가정하여 콘크리트와 철근의 응력을 검토한다(RG 표 이용).

### 6.3 볼트식 방법의 설계항목

● 볼트식 방법의 설계 항목			방법 B
구조세목			
말뚝머리부분에 작용하는 압축력, 인발력, 수평력 및 모멘트에 대해 저항할 수 있도록 검토 (허용응력설계법)	① 압입력에 대한 조사	확대기초 콘크리트의 수직압입응력, $\sigma_{cv}$	$\sigma_{cv} = \frac{P_{Nmax}}{\pi \cdot D^2} \leq \sigma_{ca}$
		확대기초 콘크리트의 수직압발전단응력, $\tau_v$	$\tau_v = \frac{P_{Nmax}}{\pi(D+h)h} \leq \tau_{a3}$
	② 수평력에 대한 조사	확대기초 콘크리트의 수평압입응력, $\sigma_{ch}$	$\sigma_{ch} = \frac{P_{Hmax}}{D \cdot l} \leq \sigma_{ca}$
		확대기초 단부의 말뚝에 대한 수평압발(押拔)전단응력, $\tau_h$	$\tau_h = \frac{P_{Hmax}}{h'(2l+D+2h')} \leq \tau_{a3}$
	③ 부풀림보강철근 나사산과 고장력 볼트의 허용 전단 응력에 대한 조사	부풀림 보강철근 나사산의 허용전단응력, $\tau_{s1}$	$\tau_{s1} = \frac{\sigma_{sa1} \cdot A_{st}}{\pi \cdot d_{e2} \cdot L_{e2}} \leq \tau_{sa}$
		지압이음용 고장력볼트의 전단응력, $\tau_{s2}$	$\tau_{s2} = \frac{\tau_{sa2} \cdot \pi \cdot d_{e3}^2}{8 \cdot b \cdot l_b} \leq \sigma_{sa2}$
	④ 압입력 및 모멘트에 대한 조사	부풀림 보강철근의 필요정착장 길이, $L_o$	$L_o = \frac{\sigma_{sa1} A_{st}}{\tau_{oa} U} \geq 35d$
		가상 철근콘크리트 단면의 응력	확대기초 속에 말뚝머리부분의 매입길이는 최소한 10cm R-G 계산도표 이용
<p>▷ <math>P_{Nmax}</math>, <math>P_{Hmax}</math>: 말뚝머리에 작용하는 최대수직력과 최대수평력  ▷ D: 말뚝의 바깥지름(cm)  ▷ <math>\sigma_{ca}</math>: 콘크리트의 허용압입응력(kg/cm<sup>2</sup>) = 0.25<math>\sigma_{ck}</math>  ▷ h: 확대기초의 유효두께(cm)  ▷ <math>\tau_{a3}</math>: 콘크리트의 허용인발전단응력(kg/cm<sup>2</sup>)  ▷ l: 말뚝의 매입길이(cm) = 10(cm)  ▷ h': 확대기초단부에서 말뚝까지의 거리  ▷ <math>\sigma_{sa1}</math>: 이형철근의 허용인장응력(kg) = 1,500(kg)  ▷ <math>A_{st}</math>: 이형철근의 공칭단면적(cm)  ▷ <math>d_{e2}</math>: 부풀림 보강철근 나사산의 유효직경(cm)</p>			<p>▷ t: 볼트식 원형덮개판의 두께(cm) = 2.2(cm)  ▷ <math>\tau_{sa1}</math>: 부풀림 나사산의 허용전단응력(kg/cm<sup>2</sup>) = 1,000(kg)  ▷ <math>\tau_{sa2}</math>: B10.9T 지압용 고장력볼트의 허용전단응력(kg/cm<sup>2</sup>) = 1,900(kg/cm<sup>2</sup>)  ▷ <math>d_{e3}</math>: 고장력볼트 나사의 유효직경(cm)  ▷ b: 고장력볼트 나사 한측면의 연단거리(cm)  ▷ <math>l_b</math>: 고장력볼트의 유효길이(cm)  ▷ <math>\sigma_{sa2}</math>: SWS400 강판의 축방향 허용인장응력 = 1,400(kg/cm<sup>2</sup>)  ▷ <math>\tau_{oa}</math>: 콘크리트의 허용부착응력(kg/cm<sup>2</sup>) = 0.64<math>\sqrt{\sigma_{ck}}</math>  ▷ U: 이형철근의 공칭둘레길이(cm)</p>

### 6.4 최대하중 기준

그림 13과 같이, 볼트식 설계방법에서 구한 최대수직력과 최대수평력 그리고 최대모멘트는 표 13에 나타나 있다.

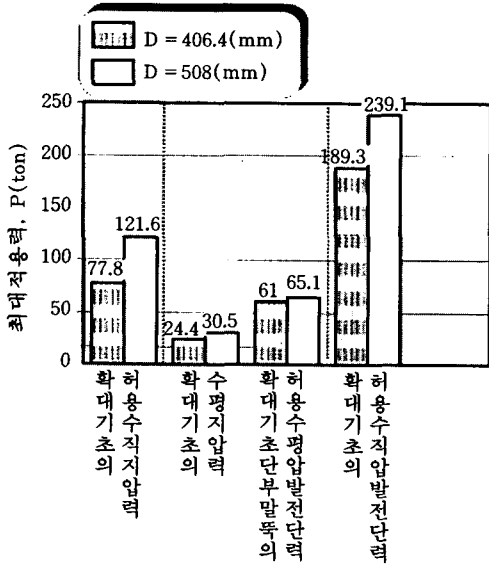


그림 13. 볼트식 강관말뚝 머리보강이 견딜 수 있는 최대하중(상시)

표 13. 강관말뚝 머리보강이 견딜 수 있는 최대하중

구분	하중		최대수직력 P <sub>Nmax</sub> (ton)	최대수평력 H(ton)	최대모멘트 M <sub>m</sub> (ton-m)
	상시	지진시**			
D = 406.4(mm)	상시		77.8	24.4	6.4 *
	지진시**		105	32.9	8.6
D = 508(mm)	상시		121.6	30.5	10 *
	지진시**		164.2	41.2	13.5

여기서, \* : M<sub>m</sub>: 말뚝본체에 생기는 설계모멘트

$$= -0.3224 \frac{P_{Hmax}}{\beta}$$

(단, 1/β ≈ 2D 가정)

\*\* : 지진시 = 1.35 × 상시

6.5 확대기초 콘크리트의 수직지압응력, 편칭전단응력, 수평지압응력 등에 대해 검토(강도설계법)

### 1) 수직지압강도

$$V_u < \phi_v S_n \quad (12)$$

여기서

V<sub>u</sub>: 극한수직하중의 설계단면력(kg) = 1.7P<sub>Nmax</sub>

φ<sub>v</sub>S<sub>n</sub>: 콘크리트의 설계지압강도(kg) =

$$\phi_v \times (0.85 \times \sigma_{ck} \times A_1) \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>: 재하면적과 지지면적(cm<sup>2</sup>)

φ<sub>v</sub>: 콘크리트 지압에 대한 강도감소계수 (건설부, 1990)

### 2) 수평지압강도

$$H_u < \phi S_n \quad (13)$$

여기서

H<sub>u</sub>: 극한수평하중의 설계단면력(kg) = 1.7 × P<sub>Hmax</sub>

φS<sub>n</sub> = φ × (0.85 × σ<sub>ck</sub> × 말뚝근입깊이 × D)

### 3) 편칭전단강도

$$S_u < \phi S_n \quad (14)$$

여기서

S<sub>u</sub> = 1.7 × P<sub>Nmax</sub>

φS<sub>n</sub> = φ × 1.1 × √σ<sub>ck</sub> × b<sub>p</sub> × d

b<sub>p</sub> = π(D + d)

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

### 6.6 표준도와 부풀림 보강철근의 배열

모든 축에 대칭이 되게 원형덮개판에 한개의 나사구멍을 비워 두면서 두개의 부풀림 보강철근을 설치하며, 이 형태를 "표준배열형태"라 하고, 볼트식 방법의 표준도는 그림 14와 같다.

### 7. 시험시공

#### 7.1 시험시공 위치

현장 적용성 및 시공성을 비교하기 위하여, 기존 방법과 볼트식 방법을 서해안고속도로 제

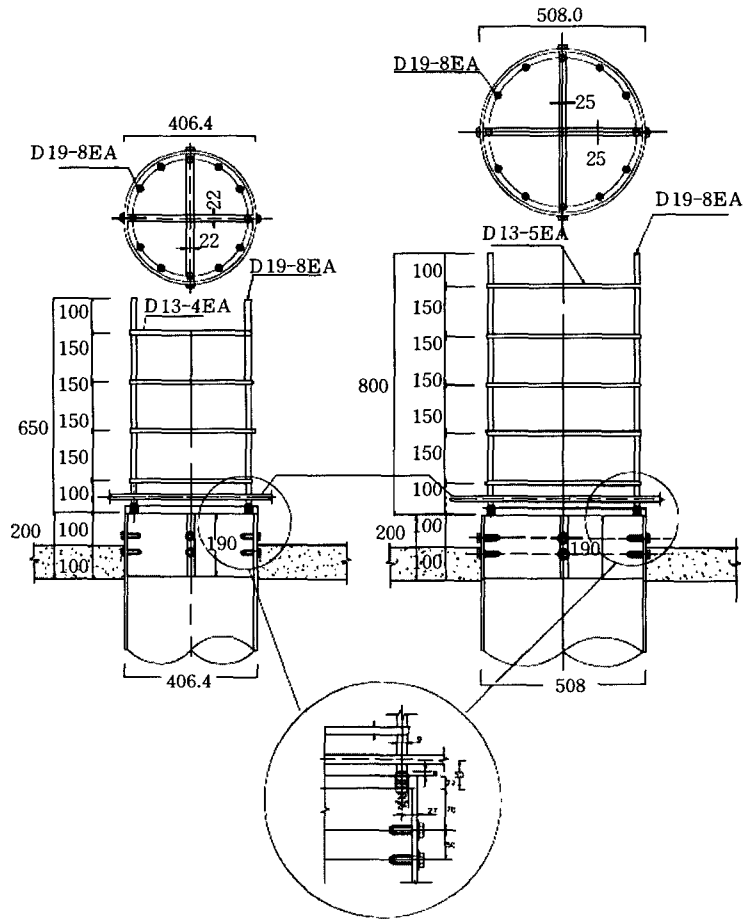


그림 14. 볼트식 강관말뚝 머리보강 표준도

○공구 ○○교대와 ○○교각, 충청지역본부  
○○교대, 그리고 호남지역본부 ○○교대의 강  
관말뚝에 적용하였다.

#### 7.2 볼트식 방법의 시공순서와 소요시간

- ① 확대기초 저면에서 20cm를 남겨두고, 자동절단기로 강관말뚝 절단(1분 30초 소요)
- ② 타공위치를 표시할 수 있는 유도기를 강관말뚝에 씌움
- ③ 정으로 강관말뚝 머리 측면부분에 8개

타공위치 표시(10초 소요)

- ④ 표시된 타공위치에 유압타공기로 8개 볼트구멍 타공(30초 소요)
- ⑤ 공장제품인 볼트식 강관말뚝 머리보강 덮개판을 강관말뚝 내부에 삽입(5초 소요)
- ⑥ 십자보강판의 나사구멍과 강관말뚝 머리 부분에 타공된 구멍과 일치시켜 고정력 볼트로 체결(20초 소요)
- ⑦ 확대기초 저면에서 10cm 정도의 버림 콘크리트를 타설

- ⑧ 확대기초 하부철근을 조립하면서 부풀림 보강철근을 원형덮개판 나사구멍에 체결 (8개)
- ⑨ 확대기초 잔여 철근조립 및 콘크리트 타설

### 7.3 시험시공 결과

새로운 방법으로 강관말뚝 머리보강을 보강할 때, 현장에서 직접 시공하는 부분은 자동절단기를 이용한 강관말뚝 절단과 유압타공기를 이용한 강관말뚝 타공이다. 그외의 작업은 공장제품을 강관말뚝 머리부분에 볼트를 체결하기만 하면 되기 때문에 품질관리가 용이하다.

그리고 작업하기 좋은 지반조건에서의 머리보강 시간은 4분/개 정도 소요되며, 확대기초 하부철근을 조립하면서 부풀림 보강철근(8개)을 원형덮개판 나사구멍(12개)에 체결하므로 확대기초 철근 조립이 기존 방법보다 매우 용

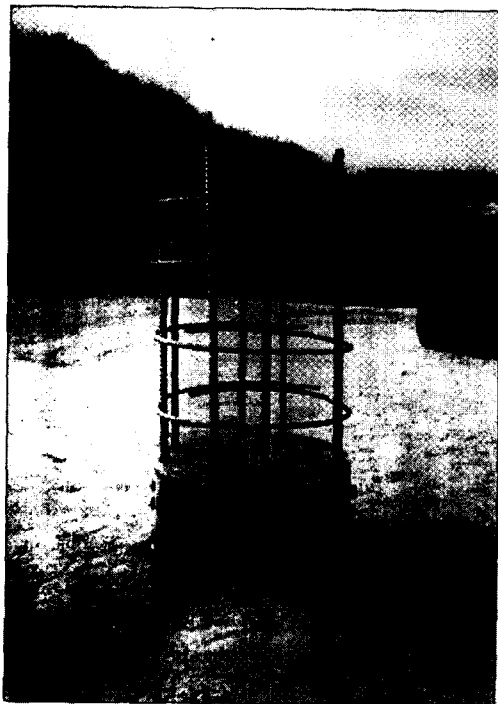


그림 15. 볼트식 강관말뚝 머리보강 전경

이하다. 또한, 말뚝 머리보강 비용은 약 230,000원이며, 설치전경은 그림 15와 같다.

현재 이 방법은 특허, 실용신안이 출원 중이며, 의장특허와 신기술지정은 1998년에 출원확정하여 고속도로 공사현장 및 국도에 널리 사용하고 있다.

### 8. 결 론

새로운 강관말뚝 머리보강에 대한 설계방법을 얻기 위하여 구조검토와 실내시험을 수행하였고, 기존 방법과 새로운 방법의 현장 시공성 및 적용성, 그리고 경제성을 알아보기 위하여 고속도로 교량기초에 적용한 결과는 다음과 같다.

1. 구조검토와 실내시험 결과로부터, 직경,  $D = 406.4\text{mm}$  강관말뚝 머리에 작용하는 최대수직력, 최대수평력, 그리고 최대인장력은 각각 77.8, 24.4, 80(ton)에, 그리고  $D = 508\text{mm}$ 인 경우에는 121.6, 30.5, 100(ton)에 저항할 수 있도록 볼트식 강관말뚝 머리보강 덮개판을 개발하였다.
2. 볼트식 강관말뚝 머리보강에 대한 설계식 중에서 부풀림 보강철근 나사산의 허용전단응력,  $\tau_d$ 과 지압이음용 고장력볼트의 허용전단응력,  $\tau_b$  식을 제안한다.
3. 볼트식 강관말뚝 머리보강 덮개판은 공장제품이므로 현장에서 용접하는 기존 방법보다 품질 관리가 용이하다.
4. 하나의 강관말뚝을 머리정리 및 보강하는데 4분 정도 소요되는 볼트식 방법은 속채움 콘크리트 방법(40~50분/개+콘크리트 양생시간) 보다 10배 이상 그리고 용접 방법(20~30분/개) 보다 5배 이상 작업시간을 단축시킬 수 있다.
5. 보강철근 12개를 설치하는 기존의 방법은 확대기초 철근조립이 매우 힘들지만, 볼트식 방법은 확대기초 하부철근을 조립한 후에 8개의 부풀림 보강철근을 원형덮개판(12개의 나사구멍)에 대칭되게 설치

하므로 확대기초 철근조립이 기존 방법보다 매우 용이하다.

6. 볼트식 방법은 용접 방법보다 말뚝 개당 평균 50% 정도, 속채움 콘크리트 방법보다 평균 9% 정도 공사비가 절감된다.

### 참 고 문 헌

1. 건설도서 편집부(1988), "말뚝기초의 설계", 건설도서, 서울, pp.11~34.
2. 건설도서 편집부(1989), "철근콘크리트의 새로운 계산도표", 건설도서, 서울, pp.55~84.
3. 건설부(1983), "도로교표준시방서", 서울, pp.1155~1165.
4. 건설부(1990), "철근콘크리트 표준시방서", 서울, pp.130~131.
5. 건설부(1990), "철근콘크리트 설계편람", 서울, p.476~478.
6. 건설부(1992), "도로교표준시방서", 서울, pp.1143~1147.
7. 건설부(1996), "도로교표준시방서", 서울, p.124, p.137, p.141, pp.720~724.
8. 변동균(1986), "철근콘크리트", 동명사, 서울, p.180.
9. 한국도로공사(1997), "고속도로 건설공사 표준도", 한국도로공사, I-271.
10. 한국지반공학회(1997), "깊은기초", 구미서관, 서울, pp.300~317.
11. 박영호, 김경석, 김성환, 전한철, 이기홍(1998), "새로운 강관말뚝 머리보강 방법", '98 봄학술 발표회 논문집, pp.159~172.
12. Tomlinson, M. J.(1994), "Pile Design and Construction Practice", E & FN SPON, London, pp. 280~281.

(접수일자 1998. 7. 18)