

# PHC Pile 두부 성능개선을 위한 파일캡의 구조모델시험 및 현장 적용성 평가

## Structural Modeling Experiments and Field Adaption Evaluation of Steel Cap for Performance Development of PHC Pile

권혁준\*                      안선희\*\*  
Kwon, Hyuk Joon          An, Seon Hee

### ABSTRACT

In this study, we concerned the steel cap and head part arrangement of PHC pile structure to complement existing construction process which have the defects such as highly hazardous circumstance for safety concerns and retard a term of works. The steel cap developed for supplement the stiffness between extend foundation and contact section of PHC pile that is based on structural theory. The experiments have been performed to evaluate the characteristics of behavior between head part of PHC pile using steel cap and extend foundation.

#### 1. 서론

PHC 말뚝은 지반이 연약하여 침하나 부등침하 할 우려가 있거나, 기초가 연약한 경우 구조물을 지지하기 위해 사용되며, 구조물의 하중을 상부층의 연약지반을 통과시켜 지내력을 가진 지반에 전달하는 역할을 한다. 이때, 구조물의 하중이 확대기초를 통하여 PHC말뚝에 원활히 전달되도록 콘크리트 확대기초와 PHC 말뚝간의 응력을 전달 할 수 있는 결합력이 필요하다. 하지만 기존의 시방서에 의한 두부정리방법의 경우 불합리성이 대두되고 있다. 시방서에 의한 두부정리방법 및 보강방법은 인력의 의존도가 높고 수작업에 의한 Cutting 작업과 Hammer, 정다듬으로 시공의 정밀도가 낮고 내·외주면의 Cutting작업 시 PC 강선의 절단 및 단면결손으로 인하여 확대 기초와 PHC PILE 사이의 정착력 저하 등 구조적인 결함이 발생할 수 있다. 또한, 인력 의존도가 높아 안전사고의 위험성이 높고 공기가 길어지고 시공비가 증대 된다.

따라서 본 연구에서는 기존의 PHC 말뚝기초 시공방법의 이러한 단점을 보완하고, 확대 기초와 PHC PILE 접합부위의 강성을 보완하기 위하여 역학적인 이론을 바탕으로 PHC Steel Pile Cap을 개발하였다. 이렇게 개발된 PHC Steel Pile Cap을 적용한 구조와 기존의 말뚝머리 시공방법의 말뚝머리부분과 확대기초사이의 응력상태를 실험을 통하여 규명하고, 시공의 안전성과 정밀도를 높이고 공기를 단축시킬 수 있는 방법 및 기존의 확대 기초와 말뚝머리부분의 접합부의 강성을 높여 안전성을 확보할 수 있는 경제적인 시공기술의 적용을 위한 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

#### 2. 실험계획 및 방법

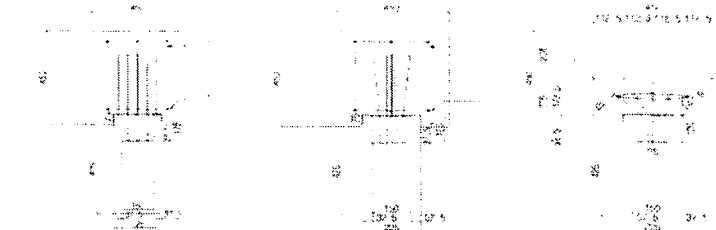
##### 2.1 실험계획

Steel Cap을 적용한 PHC Pile의 두부정리 공법의 시공시 구조적인 안정성을 평가하고 그 기능을 보완하고자 1/4 축소모델에 대해 실험을 진행하였다. 실험을 진행한 모델의 세부 사양은 다음 그림 1에 나타낸 바와 같이, 기존의 PC 강선을 유지한채 시공하는 두부정리 공법을 재현한 (a)방법과 PHC Pile

\*정희원, (주)대호에코텍 부설연구소장, 공학박사

\*\*정희원, (주)대호에코텍 대표이사, E-mail:daeho@idaeho.com

의 상단부에 일반적인 정착방법인 수직에서 소정의 각도를 유지한 A-type의 Steel Cap을 사용한 (b) 방법, 그리고 국부적인 지압과피 분석 및 Strut-Tie모델을 적용한 45도 정착방식의 B-type의 Steel Cap을 적용한 (c)방법을 대상으로 실험을 진행하였다.



(a) 기존의 두부정리방법 (b) Steel Cap A-type (c) Steel Cap B-type

## 2.2 실험방법

실험에 사용된 시험체는 폭 700mm×700mm, 높이 400mm의 콘크리트에 직경 225mm, t=40mm의 PHC 파일을 100mm 근입한 형태이며, 부재의 폭은 PHC 말뚝의 직경과 1:1 비율로 맞추기 위해서 700mm (225×3=675mm)로 하였다. 높이는 축소 비율을 감안하여 400mm으로 제작하였다. 확대기초를 형상화한 콘크리트의 구체에는 상·하면에 D10철근을 사용하며 그 피복두께를 100mm로 했으며, 부재 근입 깊이를 100mm를 제외한 파일길이는 450mm로 하였다. 구조시험용 시험체에 대한 실험은 그림 4에 나타난 100톤 용량의 가력프레임을 사용하여, 일정한 수직재하 하중으로 20톤을 가한 상태에서, 수평하중을 Pile의 중앙부위에서 0.5톤씩 단조증가 시키면서 실험을 실시하였으며, Pile의 측면부분에 LVDT와 콘크리트용 Strain Gauge를 설치하여 변위를 측정하였으며, 내부 시험체의 확대기초 부분에 철근용 Strain Gauge를 설치하여 변위를 측정하였다.

그림 1. Steel Cap을 적용한 구조시험용 모델

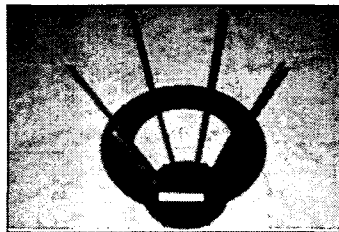


그림 2. PHC Pile 두부보강용 Steel Cap A-type

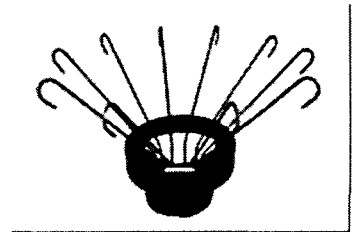


그림 3. PHC Pile 두부보강용 Steel Cap B-type

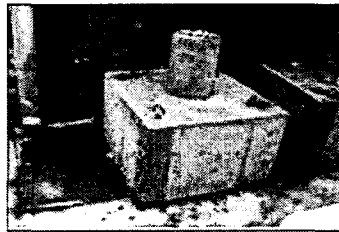


그림 4. Steel Cap을 사용한 구조시험용 시험체



그림 5. Steel Cap을 적용한 구조물의 구조해석 실험전경

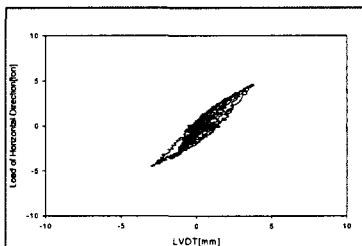


그림 6. 기존의 두부정리 모델시험체의 LVDT 변위량

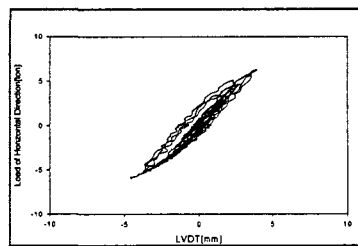


그림 7. Steel Cap A-type을 적용한 모델시험체의 LVDT 변위량

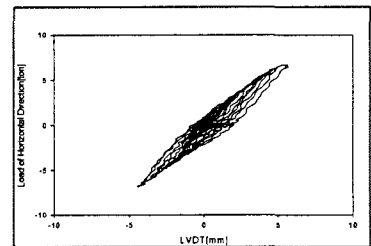


그림 8. Steel Cap B-type을 적용한 모델시험체의 LVDT 변위량

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 실험결과

##### 3.1.1 수평하중 변화에 따른 특성

기존의 두부정리 방법에서의 수평하중 단조증가에 따른 LVDT 변위량은 그림 6에 나타낸 바와 같이 항복점이 5.5~6.0tonf에서 생성되고 있으며, 항복점까지의 LVDT값은  $\pm 5\text{mm}$ 의 변위를 가지는 것으로 나타났다. 탄성범위 내에서 수평하중 단조증가 값 1tonf당 0.83mm의 LVDT 변위값을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 그림 7과 같이, Steel Cap A-Type의 경우 수평하중 단조증가 시킬 때 4.0~4.5tonf에서 항복점이 나타났으며, Break-Point에서 최대변위는  $\pm 3.5\text{mm}$ 로 나타나 수평하중 단조증가 값 1tonf당 0.78mm의 LVDT변위가 일어나는 것으로 나타나 기존 두부정리 공법에 비하여 상대적인 탄성 계수값이 증가한 것으로 보이고 있다.

그리고 그림 8은 Steel Cap의 보강 철근은  $45^\circ$  각도로 정착시킨 B-Type의 경우로써, 수평하중 단조증가에 의한 항복점은 5.5~6tonf에서 나타나며, 이에 따른 LVDT 변위값은  $\pm 4.5\text{mm}$ 로 나타나 수평하중 단조증가 값 1tonf에 대하여 0.75mm의 LVDT변화 값을 가지는 것으로 나타났는데, 이는  $45^\circ$  각도의 정착구조로 설계하였을 때 A-Type의 경우에 비하여 수평하중 단조증가에 대한 높은 항복점을 가지며, 상대적으로 두부정리형태보다 수평하중 단조증가에 따른 변위값이 적어 더욱 안전한 확대기초와 PHC Pile 접합부 설계가 가능하다는 것을 알 수 있다.

표 1. 기존의 두부정리 및 Steel Cap 종류에 따른 콘크리트의 변위 특성

구분	기존 두부정리	Steel Cap A-type	Steel Cap B-type
수평변위 [mm]	$\pm 1.5$	$\pm 2$	$\pm 1$
수직변위 [mm]	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 1$

##### 3.1.2 수평하중 변화에 따른 콘크리트 변위특성

표 1에 나타낸 것처럼, 기존의 두부공법을 적용한 시험체의 수평하중 단조증가에 대한 항복점까지의 콘크리트 외벽의 수평·수직에 대한 변위는 수평변위가  $\pm 1.5\text{mm}$ , 수직변위가  $\pm 1\text{mm}$ 로 나타났다. 그리고 Steel Cap A-type의 경우에는 수평변위가  $\pm 2\text{mm}$ 로 나타났으며, 수직변위 역시  $\pm 2\text{mm}$ 로 나타났다. 이와 같은 변위차이는 Pile의 두부정리형태와 Steel Cap을 적용하면서 발생하는 확대기초의 정착 및 부착강도 차이에 기인한 것으로 판단되며, Steel Cap B-type을 적용한 구조에서는 수평하중의 단조증가에 따른 콘크리트 외벽의 수평수직에 대한 변위를 측정된 결과 수평수직 변위 모두  $\pm 1\text{mm}$  안에 드는 것으로 나타났다.

##### 3.1.3 확대기초와의 접합부에 대한 콘크리트 변위특성

기존 두부정리 공법과 Steel Cap B-type을 적용한 축소모델에서의 확대기초와 접합부에서의 특성을 살펴본 결과는 그림 9~10에 나타낸 것과 같이, Steel Cap의 구조개선에 의하여 수평하중의 최대 항복점도 같이 증가되어 강성이 크게 됨을 확인하였으며, 탄성계수 또한 높일 수 있다는 결과를 얻을 수 있었다.

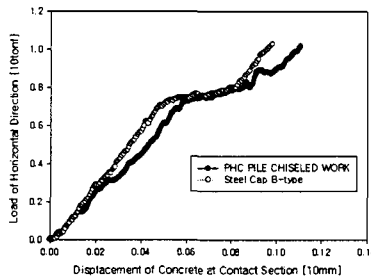


그림 9. 접합부에서의 수평하중 단조증가에 따른 콘크리트변위

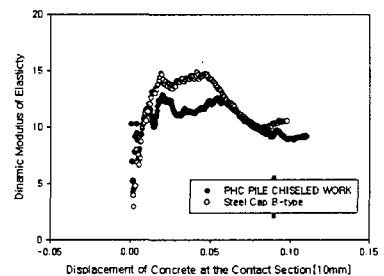


그림 10. 접합부에서 콘크리트 변위에 따른 탄성계수 특성

#### 4. Steel Cap의 현장적용

지면에 노출된 PHC 말뚝의 높이가 일정하지 않은 경우에는 말뚝의 두부를 시방서 및 도면에 맞게 일정높이로 정리하여야 하는데, 이때 기존의 두부정리 공법은 10여 차례의 공기가 수반되는 인력의존도가 높은 작업이 큰 특징으로 그림 9와 같이 현장여건 또한 매우 열악한 상황이다. 이러한 공법의 적용으로 공기의 지연 및 안전성 문제에 대한 해결방안으로 그림 10과 같이 말뚝머리를 일정한 레벨로 정리할 수 있도록 기계화된 작업의 도입이 필요하게 되며, 또한 그림 11~14는 기초구조물 시공구간에 PHC Pile용 Steel Cap A-type 및 B-type의 적용을 나타낸 것으로 이러한 공법의 도입으로 그 동안의 여러 가지 문제점들을 일거에 해소시킬 수 있는 그 대안이라 할 수 있겠다.

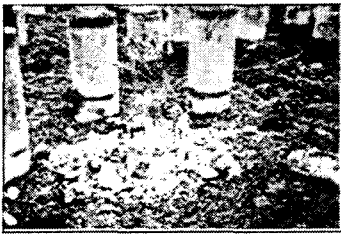


그림 11. 기존 공법에 따른 PHC Pile 시공현장의 두부정리 전경

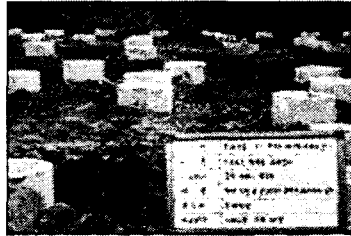


그림 12. Steel Cap을 이용한 두부 보강을 위한 PHC Pile 두부정리전경

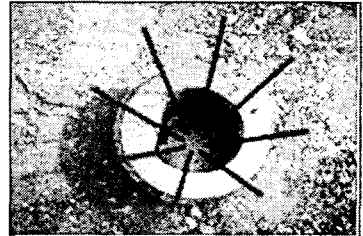


그림 13. PHC Pile에 Steel Cap A-type을 적용한 두부보강

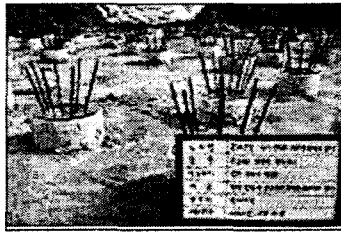


그림 14. Steel Cap A-type을 적용한 PHC Pile 두부보강



그림 15. Steel Cap A-type을 적용한 PHC Pile 두부보강

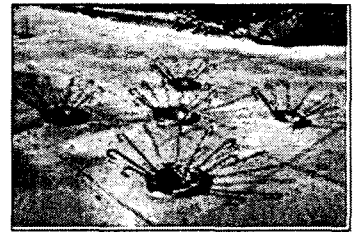


그림 16. Steel Cap B-type을 적용한 PHC Pile 두부보강

#### 5. 결론

본 연구에서는 기존의 PHC Pile 두부정리 공법의 현장여건 및 시공환경의 비경제성 등을 감안하여 Steel Cap의 구조적인 특성결과를 모델시험을 통하여 확인한 결과, Deep Beam 이론과 Strut-Tie 모델을 적용한 일정 각도를 유지하는 Steel Cap의 구조적 거동이 유효함을 확인하였으며, 실제적으로 제시한 공법의 적용이 가능하도록 PHC Pile과 확대기초 접합부 설계에 있어서 수치적 개선방안과 시방요건 및 설계, 해석에 대한 후속작업과 이에 대한 향후 유효활용을 위해서는 계속적인 후속연구등이 필요하다 하겠다.

#### 참고문헌

1. Joseph E. Bowles, 기초구조물의 설계와 해석, 민음사, 1985
2. 김우 외 4인, 콘크리트구조설계, 사이텍미디어, 2001
3. 유성근 외 4인, 강관 말뚝 기초두부 연결부의 합성거동에 대한 연구, 콘크리트학회지 15권 2호, 2003