

# PHC 파일을 이용한 영구벽체 융합 공법

류수현\*

삼육대학교 건축학과

## Permanent Basement Wall Convergence Method Using a PHC Pile

Soo-Hyun Ryu\*

Department of Architecture, Sahmyook University

**요약** 본 연구는 기존의 가설 흙막이 벽으로만 사용되는 현장제조 CIP를 기성제 PHC 파일로 대체하여 흙막이 겸 영구벽체로 사용하는 융합 공법을 제안하고 적용가능성을 확인하였다. PHC파일은 공장제작으로 품질을 믿을 수 있으며 재료적으로 콘크리트 강도나 긴장재의 인장응력이 CIP에 비해 우수하고 구조적으로도 큰 휨내력을 가지고 있다. 이러한 장점을 가진 PHC파일을 이용한 영구벽체 공법은 기존의 가설 흙막이 공법과 비교하면 시공이 간편하고 경제적이며 현장타설이 최소화되어 공기단축이 가능하다. 또한 공장제작을 통해 균질한 구조성능을 얻을 수 있고 흙막이와 지하외벽이 이중 시공되지 않으므로 공간활용 측면에서도 유리한 장점이 있는 것으로 나타났다.

• **주제어** : PHC파일, 영구벽체, 가설, 흙막이, 공간활용

**Abstract** This study was intended to suggest a new-concept construction method of permanent basement wall combined with earth retaining wall by using PHC piles to overcome the disadvantages of conventional CIP methods or the like which have been used just for earth retaining walls during field construction, and to determine its applicability. PHC piles are characterized by the reliable quality attributed to prefabrication (shop fabrication) as well as superior concrete strength and prestressing steel strength to that of CIP in the aspect of materials, and also higher bending moment than that of CIP in the aspect of structure.

• **Key Words** : PHC pile, permanent wall, temporary construction, retaining walls, space application

### 1. 서론

#### 1.1 연구목적

도심지에서 인접 건축물이 근접되어 있을 경우 한정된 대지에서 깊지 않은 지하구조물을 구축할 때 토류벽 CIP[1,2,3] 등 흙막이 공법이 주로 사용되고 있다. 기존 흙막이 기술로 굴착하면 시공시 주변 인접 건축물이나 도로 등에 영향을 주어 많은 문제를 야기할 수 있는 상황

에서 이를 최소화하고 효율적이며 시공성이 우수한 새로운 흙막이 기술의 요구가 증대되고 있는 상황이다. 특히 기존 APT 개수시 PIT층을 확장하거나 지하주차장 신설시 흙막이와 지하외벽을 별도로 시공하고 있으며 기존 건물 증축시에는 바닥면적이 감소하고 신설시에는 흙막이 설치로 인한 인접구조물 영향 등의 문제점이 나타나고 있다. 따라서 본 논문은 융합적 관점에서 현장시공 중 흙막이로만 사용되는 토류벽 CIP등의 단점을 보완한 새

\*교신저자 : 류수현(ryu1299@syu.ac.kr)

접수일 2015년 10월 19일

수정일 2015년 11월 25일

게재확정일 2015년 12월 20일

로운 기술인 PHC파일을 이용한 흠막이 겸 영구벽체공법의 개념을 제안하고 이에 더하여 지질조사가 완료된 대지에 PHC파일을 영구벽체로 적용하여 구조해석을 실시하고 그 적용 가능성을 확인하고자 한다.

### 1.2 기존 연구

PHC파일은 우수한 축강도와 경제성을 지니고 있어 말뚝 기초구조물로서 수요가 많은 상황이며 PHC파일을 이용한 다양한 연구들이 수행되고 있다. PHC파일의 내부를 충전하고 철근으로 보강하여 전단 및 휨보강 효과를 검증하는 연구들이 수행되었으며[4,5,6] PHC파일이 활용된 흠막이 버팀보의 좌굴 해석에 대한 연구를 수행하였다[7,8]. 절곡근을 이용한 두부보강을 하거나[9] 밴드 플래이트를 부착하여 기둥접합부를 구성하고[10] 살두께 및 선단을 확장보강하여 적용가능성을 확인하였다[11]. 본 연구와 유사한 PHC벽체파일에 대한 연구는 사각형 PHC벽체파일에 CT형강을 합성시켜 타 부재와의 연결 기능을 향상시킨 실험체에 대한 해석 및 실험이 수행되었으며 단순한 휨강도 검증이 이루어졌다[12]. 이상과 같이 PHC파일에 대한 다양한 연구가 수행 되었으나 흠막이 용도에 한정되거나 내력 향상을 위한 충전이나 배근 방법연구 등이 주를 이루었으며 벽체와 흠막이 병용에 대한 연구는 미비한 실정으로 나타났다.

## 2. PHC 파일 영구벽체 특징

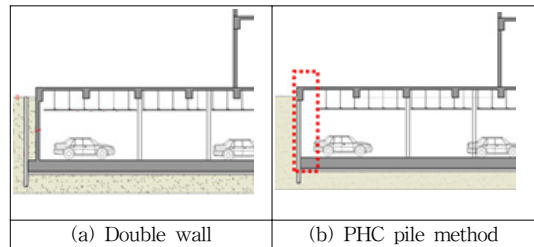
### 2.1 PHC 파일

PHC 파일은 고성능 감수제 등 혼화제를 사용하여 고온·고압 증기양생 한 것으로 고강도 콘크리트에 프리스트레스를 도입하여 제작한 말뚝이다. 일반 PC파일에 비해 약 60~70% 이상의 높은 강도를 나타내고 큰 축력에 견딜 수 있다. 또한 휨내력과 타격에 강해 항타중의 파손 확률이 적은 장점을 가지고 있으며 국내 콘크리트 파일의 약 90%이상을 점유하고 있다.

### 2.2 기존 흠막이 공법과의 차이점

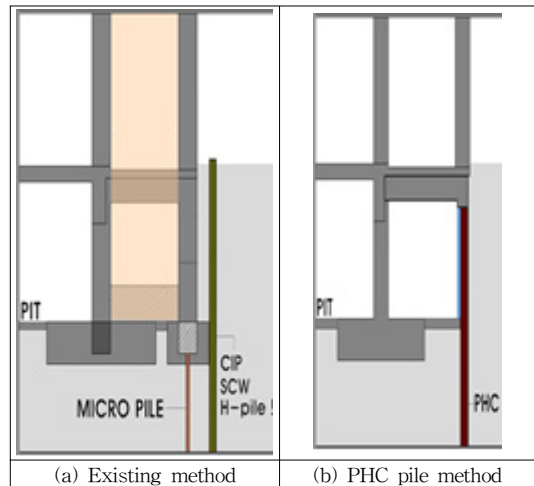
기존에 사용하는 공법은 [Fig. 1]과 같이 흠막이 공사와 지하외벽 공사를 서로 분리하여 시공하므로 시공성, 경제성이 불리하고 두 번의 공사로 인해 공기가 지연되며 흠막이와 지하외벽이 각자의 공간을 차지하므로 공간

활용면에서도 손실이 발생한다. 그러나 PHC파일 영구벽체 공법은 융합적 관점에서 파일이 흠막이와 벽체의 기능을 동시에 수행함으로써 중복공사를 방지하여 시공성 및 경제성이 우수하고 공기를 단축할 수 있으며 손실공간을 최소화 할 수 있는 장점을 가지고 있다[13].



[Fig. 1] Comparison with existing method in underground parking lot

또한 [Fig. 2]와 같이 증축시에도 기존공법의 경우 흠막이와 증축부를 별도로 설치하여 추가 파일시공이 필요하고 증축공간의 면적이 손실되지만 PHC말뚝을 사용하여 시공시에는 말뚝이 기초와 흠막이 역할을 동시에 수행함으로써 중복공사 및 면적손실을 방지하여 시공성 및 경제성이 우수하고 공기를 단축할 수 있는 장점이 있다.



[Fig. 2] Comparison with existing method in extension work

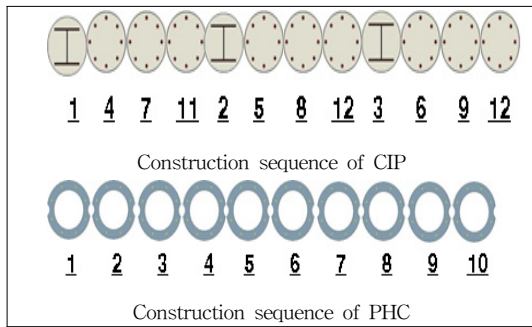
<Table 1>에 현재 사용되는 CIP공법과 장단점을 비교하였다. 비교결과 PHC파일 공법이 시공순서와 피장 설치방법에서 우수한 시공성을 나타냈으며 콘크리트 및

보강재강도 등에서 재료적으로 우수한 성능을 나타냈고 특히 콘크리트의 양생을 공장에서 관리함으로 신뢰성이 확보되는 장점이 있는 것으로 나타났다.

<Table 1> Compare PHC Pile method with CIP

Item	CIP	PHC Pile
construction sequence	mixed	order
$f_{ck}$	21MPa	80MPa
Cure condition	On site	Precast
Reinforcing bar strength	rebar 400MPa	pre-stressing bar 1300MPa
Flexural strength	34kN·m	99kN·m
Furring strip	Breaking Concrete	Using anchor hole

### 2.3 시공법



[Fig. 3] Construction sequence

PHC 파일 영구벽체 공법 시공순서는 [Fig. 3]과 같이 천공-케이싱삽입-PHC말뚝 삽입-케이싱 인발(반복작업) - 그라우팅 케이싱 삽입-그라우팅-그라우팅케이싱 인발 순으로 [Fig. 3]과 같이 순차적으로 일렬 시공된다. CIP공법에 비해 현장타설하지 않고 기성체를 매입하므로 시공이 간편하고 공기가 단축되며 정밀도가 높다. 또한 [Fig. 3]에 보이는 바와 같이 순차시공으로 시공순서가 명확한 장점이 있다.

### 2.4 기존공법과의 경제성 비교

<Table 2>에 CIP공법과의 경제성을 비교하였다. 현재 주로 사용되는 CIP공법의 경우 자재비와 공사비의 합이  $m^2$ 당 49,300원이고 PHC파일 영구벽체 공법은 35,000원으로 PHC파일 공법이 30% 정도 저렴한 것으로 나타났다. PHC파일 영구벽체 공법은 CIP공법에 비해 저렴한 자재비와 공사비가 소요되는 것으로 나타났으며 특히 간편한 시공으로 인해 경제성 뿐 아니라 공기를 단축할 수

있는 이점도 존재한다.

<Table 2> Economical efficiency comparison

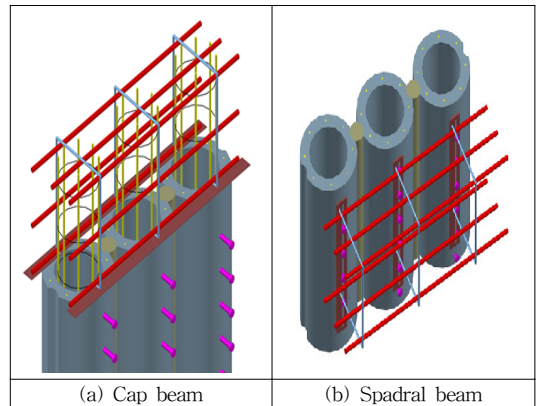
UNIT : Won ( $\varnothing$  400, per  $m^2$ )

Process		C.I.P	PHC
Boring		Same	same
Material	Rebar	13,000	-
	RMC	6,300	-
	H-beam	15,000	-
	PHC Pile	-	25,000
Sum		34,300	25,000
Construction	RC	15,000	-
	PHC PILE	-	10,000
Total		49,300 (100%)	35,000 (70%)

## 3. 요소기술

### 3.1 PHC 파일 접합 상세

[Fig. 4]에 Cap beam과 테두리보의 접합상세를 나타내었다. 흙막이벽 뿐 아니라 영구벽체로 사용하기 위해서 상부의 하중을 효율적으로 전달할 수 있는 일체성을 확보하기 위하여 필요한 구조 접합부를 제안하였다.

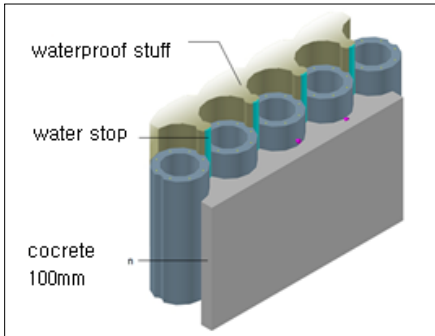


[Fig. 4] Joint detail

### 3.2 차수 및 방수대책

PHC 파일 영구벽체의 차수 및 방수대책은 [Fig. 5]와 같 그라우팅 케이싱 삽입 후에 방수판을 설치하고 안쪽에 고강도 실리카 재질의 방수재를 사용하여 그라우팅을

하여 2층의 차수 및 방수대책을 수립하였다. 따라서 콘크리트를 타설하는 기존공법에 비해 불리한 차수 및 방수 성능을 확보하도록 계획하였다.



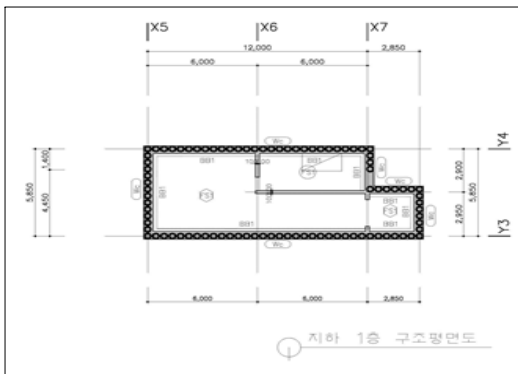
[Fig. 5] Flood prevention measure PHC Pile

### 3.3 PHC 파일의 시공 오차 대책

천공하여 파일을 삽입할 경우 흠막이 벽인 경우에는 일반적으로 수직도 시공오차를 1/200정도로 산정하나 본 공법은 영구벽체로도 사용하기 때문에 시공오차 1/400을 확보하여야 한다. 1/400의 오차를 확보할 경우 깊이 10m일 때 25mm의 오차가 발생하며 [Fig. 5]와 같은 100mm의 콘크리트 벽체를 타설하면 시공오차를 충분히 흡수하여 시공상 문제점 발생을 억제할 수 있다고 판단된다.

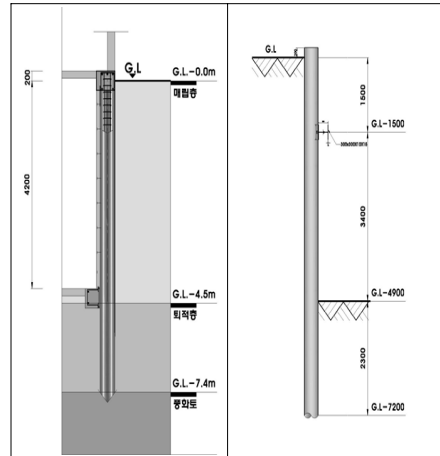
## 4. 구조검토

### 4.1 대지 조건



[Fig. 6] B1<sup>st</sup> floor plan

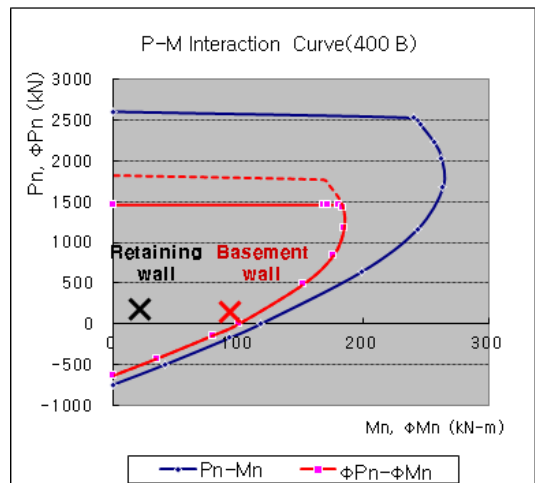
PHC파일 영구벽체의 적용 가능성을 검토하기 위하여 지질조사가 완료된 대지에 대한 구조 설계를 수행하여 적용가능성을 검토하였다. 계획대지는 경기도 연천에 위치하며 지하 1층 지상 2층의 철근콘크리트 건물이며 지하수위는 G.L.-0m이고 GL-1.5m에 스트럿을 설치하였다. [Fig. 6]에 지하 1층 구조평면도를 [Fig. 7]에 계획대지의 지질 형상과 구조단면을 나타냈다[14].



[Fig. 7] Geological feature and structural section

### 4.2 PHC 파일의 P-M상관도

해석에 사용한 PHC파일은  $\Phi 400 \times 65B \times 1,450$  파일을 이용하여 검토하였다. 축방향 강선 중심에서 표면까지 거리는 35mm이다.



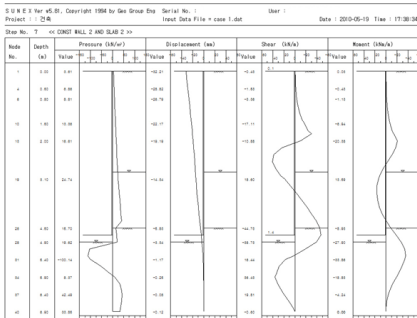
[Fig. 8] P-M Interaction curve of PHC pile

PHC파일의 휨강도는 프리스트레스 내력산정식을[14] 이용하여 <Table 3>과 같이 산정하였으며 전단강도는 187.4kN으로 나타났고 P-M상관도를 [Fig. 8]과 같이 도시하였다. 이상과 같은 방법으로 생산되는 모든 PHC파일의 PM상관도를 작성하여 필요에 따라 영구벽체에 적용할 수 있다[15]. 또한 추후 실무에서 P-M상관도를 이용한 설계시 충분한 안전을 확보를 위하여 강도감소계수 적용 등 안전대책을 확보할 필요가 있다.

(Table 3) Flexural strength of PHC pile

Diameter	Sort	Pn (kN)	$\phi M_n$ (kN · m)	$\phi P_n$ (kN)
400	B	0.1	99.9	0.0
		637.0	151.7	488.2
		1163.2	175.8	841.6
		1675.6	184.4	1172.9
		2038.1	183.6	1426.7
		2607.4	0.0	1460.2

### 4.3 PHC파일 흠막이 검토



[Fig. 9] Program analysis of temporary retaining wall

(Table 4) Consideration of temporary retaining wall

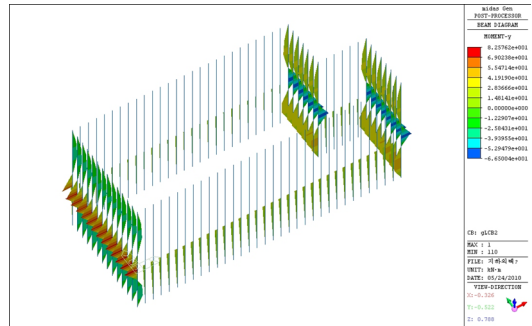
Mu	Vu	$\phi M_n$	$\phi V_n$	Decision
19.9kN · m	26.2kN	99.9kN · m	131.2kN	O.K.

프로그램을 이용하여 터파기 시공단계별로 초기부터 마지막 단계까지 7단계로 나누어 구조해석을 실시하였으며 [Fig. 9]는 마지막 7단계의 축력, 변위, 전단, 휨 그래프를 나타내고 있다. 해석결과 7단계까지 허용 범위안에 거동하고 있는 것을 확인하였고 [Fig. 8] 가설흠막이의 P-M 상관도 위치를 확인하면 안전축에 있는 것을 알 수 있다. 흠막이 내력 검토 결과 <Table 4>와 같이 휨, 전단 모두 큰 안전율을 갖고 있음을 확인하였다. 시공초기 흠막이와 벽체 이종의 하중을 받을 수 있으므로 중복 검토 및 추가안전 설계가 필요하다.

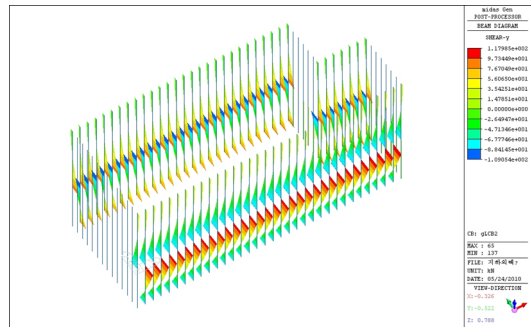
토 및 추가안전 설계가 필요하다.

### 4.4 PHC 파일 지하외벽 검토

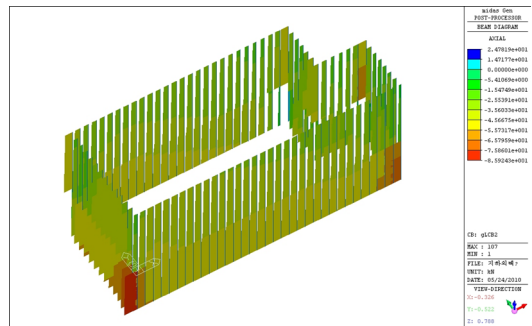
MIDAS프로그램을 이용하여 PHC 파일의 지하외벽 검토를 실시하였으며 [Fig. 10]은 휨모멘트 [Fig. 11]는 전단력 [Fig. 12]은 축력해석결과이다.



[Fig. 10] Analysis result of bending moment



[Fig. 11] Analysis result of shear force



[Fig. 12] Analysis result of axial force

지하외벽 검토 결과 <Table 5>와 같이 휨과 전단 모두 안전축에 있는 것으로 확인되었으나 흠막이벽에 비해 휨 응력이 크다는 것을 알 수 있다. [Fig. 8] P-M상관도 상 위

치를 보면 축력은 충분한 여력이 있는 것으로 나타났다.

<Table 5> Consideration of basement outer wall

Mu	Vu	$\phi M_n$	$\phi V_n$	Decision
92.2kN·m	118.0kN	99.9kN·m	131.2kN	O.K.

## 5. 결론

본 연구는 기존 흙막이 용도로만 사용되던 토류벽 및 CIP공법의 단점을 개선하여 흙막이 기능과 뿐 아니라 영구벽체로도 사용가능한 PHC파일 영구벽체 융합 공법을 제안 하였다. 기존 흙막이와 비교결과 흙막이 겸용 영구벽체인 PHC파일 공법은 시공이 간편하고 경제적이며 현장타설이 최소화되어 공기단축이 가능하다. 또한 공장제작을 통해 균질한 구조성능을 얻을 수 있고 흙막이와 지하외벽이 이중 시공되지 않으므로 공간활용 측면에서도 유리한 장점이 있다. 본 논문을 통해 제안된 접합상세와 차수 및 방수대책 그리고 시공오차에 대한 대응책을 적용한다면 현장 적용가능성은 충분한 것으로 판단된다. PHC 파일을 실무설계에 적용하여 흙막이 용도와 지하벽체 용도로 검토한 결과 흙막이 보다는 지하벽체로 사용할 경우 큰 응력이 발생하였으며 P-M상관도를 이용하여 검토한 결과 구조안전성을 확보한 것으로 나타났다. 따라서 PHC 파일을 흙막이겸 영구벽체로 현장에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- [1] Seung-Hun Kim, Sam-Young Noh, Seong-Jin Hong, Kap-Soo Kim, Byum-Seok Han, "Section Design and Flexural Strength of PUS Member Constructed by Continuous CIP System", Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 28, No. 6, pp. 3-10, 2012.
- [2] Sam-Young Noh, Kap-Soo Kim, Seong-Yong Yu, Wang-Hee Lee, "On Shear Performance Evaluation of Plain Concrete Cross Section in Permanent Basement Wall Improving CIP Method", Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 27, No. 4, pp. 77-85, 2011.
- [3] Jung-Il Suh, Hong-Gun Park, Geon-Ho Hong, Su-Min Kang, Chul-Goo Kim, "Shear Strength of Prestressed PC-CIP Composite Beams with Vertical Shear Reinforcement", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 27, No. 4, pp. 399-409, 2015.
- [4] Jin-Wook Bang, Jung-Hwan Hyun, Bang-Yeon Lee, Seung-Soo Lee, and Yun-Yong Kim, "Flexural Strength of PHC Pile Reinforced with Infilled Concrete Transverse and Longitudinal Reinforcements", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 25, No. 1, pp. 91-98, 2013.
- [5] Jung-Hwan Hyun, Jin-Wook Bang, Seung-Soo Lee, and Yun-Yong Kim, "Shear Strength Enhancement of Hollow PHC Pile Reinforced with Infilled Concrete and Shear Reinforcement Journal of the Korea Concrete Institute, Vol. 24, No. 1, pp. 071-078, 2012.
- [6] Ji-Seok Seo, Jin-Wook Bang, Jung-Hwan Hyun, Seung-Jun Kwon, Yun Yong Kim, "Flexural Strength Analysis of PHC Pile Reinforced with Infilled Concrete and Longitudinal Reinforcement" Proceedings of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 19, No. 1, pp. 526-528, 2013.
- [7] Seung-Hyun Lim, Man-Yop Han, Sung-Bo Kim, Se-Jin Jeon, "Buckling Analysis of Earth Retaining Supportused by PHC Pile Struts", Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 26, No. 1, pp. 795-796, 2014.
- [8] Seung-Hyun Lim, In-Gyu Kim, Sung-Bo Kim, "Design and Buckling Analysis of Earth Retaining Struts Supported by High Strength Steel Pipe and PHC Pile", Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 27, No. 4, pp. 411-422, 2015.
- [9] Jeong Hoi Kim, Jong-Hwan Oh, Young-Shik Park, "Bent Rebar Method of PHC Pile and Cap", Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 25, No. 2, pp. 699-660, 2013.
- [10] Sung-Bae Kim, Sung-Jin Kim, Sang-Seup Kim, "Study on the Bond Strength of PHC Pile with Band Plate", Journal of the Architectural Institute of

- Korea Structure & Construction, Vol. 25, No. 2, pp. 29-36, 2009.
- [11] Jin-Seop Lee, Ki-Yong Song, “Material Properties and Bearing Capacities of PHC pile with Enlarged Thickness”, Proceedings of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 30, No. 1, pp. 207-208, 2013.
- [12] Ho-Seong Mha, Hyo-sang Cho, Tae-Hyung Kim, Jong-Ku Lee, Jung-Hun Won, “A Study on Behaviors of Composite PHC(Pretensioned spun High strength Concrete) Piles by Nonlinear Finite Element Analysis“, Proceedings of Korean Society of steel construction, pp. 55-56, 2010.
- [13] Soo-Hyun Ryu, Young-Sul Won Dae-Ho Kim, “A Study on Permanent Basement Wall Method Using PHC Pile”, Proceedings of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 31, No. 2, pp. 369-370, 2013.
- [14] Soo-Hyun Ryu, Jin-Seob Lee, Dae-Ho Kim, “Design Strength of Permanent basement wall made by PHC Pile”, Proceedings of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 31, No. 2, pp. 189-190, 2013.
- [15] KBC(Korean Building Code) 2015 Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015.

#### 저자소개

류 수 현(Soo-Hyun Ryu)

[정회원]



- 1997년 2월 : 건국대학교 건축공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 건국대학교 건축공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 삼육대학교 건축학과 교수

<관심분야> : 건축구조, 합성구조, 리사이클링