

가설울타리 골조의 횡력에 대한 구조적 거동

김영찬¹, 이재철^{2*}

¹부경대학교 건축공학과, ²동명대학교 건축공학과

Structural Behavior of Temporary Fence Frame under a Lateral Load

Young-Chan Kim¹ and Jae-Cheol Lee^{2*}

¹Department of Architectural Engineering, Pukyong National University,

²Department of Architectural Engineering, Tongmyong University

요약 가설울타리는 건설현장에서 환경규제와 보행자의 안전을 위해 필수적으로 설치해야 하는 시설물로서 가설울타리 골조의 구조적 일체성은 시공사의 책임에 의해 주어진다. 가설울타리 골조는 기둥과 띠장만으로 구성하면 면외방향 강성이 부족하기 때문에 일반적으로 보조 말뚝과 가새로 보강한다. 본 연구에서는 가새의 위치에 대한 이론적 분석을 통해 3가지 형태의 보강 골조를 제안하고, 제안 모델에 대한 구조해석을 통해 최대 모멘트와 횡변위를 기준으로 구조적 거동을 비교하였다. 이때 도심이나 혼잡한 곳에 설치될 수도 있는 건설현장의 특수성을 반영하여 구조해석시 균중에 의한 상황도 고려하였다. 분석 결과, 기존 가설울타리 골조 형태에서 가새 설치위치의 중간부분에 보조 가새를 설치한 보강 형태가 가장 효율적인 것으로 판명되었다.

Abstract Temporary fencing is a mandatory installation in construction sites because of environmental regulations and pedestrian safety. Contractors are responsible for the structural integrity of frames. The fence frame composed of a ledger and post is very weak in the out-of-plane direction, which is normally reinforced by diagonal bracing with a sub post. In this study, the location of lateral bracing for the main post was investigated analytically. Three types of frame were suggested and their performance was compared in terms of the maximum moment and deflection. A construction site may be located at city centers or crowded areas, and a contingent accident should be considered. The EOD type was found to be most efficient among the three frames suggested.

Key Words : Construction site safety, Lateral loading, Temporary fence frame

1. 서론

가설울타리는 현장주변 거주자에게 소음과 먼지 등의 피해를 줄이고 보행자를 현장으로부터 안전하게 보호하기 위해 설치한다. 가설울타리에 대한 기존의 자료[1,2]에는 가설울타리로 흔히 채용되는 부재의 구조적 배치에 관한 주기둥, 가새, 보조 말뚝의 설치간격과 부재의 대표적인 값이 제시되어 있다. 가설울타리는 임시구조물이기 때문에 강도한계 또는 사용성한계에 대한 요구사항이 없

다[1,3]. 그러나 가설울타리의 부적절한 설치는 특히 바람이 심한 경우, 현장 근로자나 보행자의 안전에 심각한 위험이 될 수 있다.

Temporary Works Forum(이하 TWF)[4]에서는 광고판의 설치와 관련된 구조설계 및 재료의 물성에 대한 기준을 제시하였다. 이 기준에 따르면 풍하중 뿐 만 아니라 수평하중 또는 밀집된 지역에서의 균중하중을 고려하도록 하는데, 수평하중은 지상 1.2m 높이에서 0.74kN/m이고 균중하중은 지상 1.1m에서 1.5kN/m로 규정하고 있다.

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년)에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Jae-Cheol Lee(Tongmyong Univ.)

Tel: +82-51-629-2468 email: jclee@tu.ac.kr

Received July 23, 2014

Revised August 13, 2014

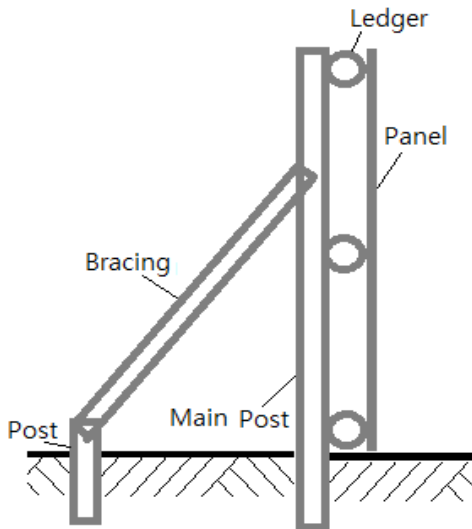
Accepted January 8, 2015

본 연구에서는 콘크리트 기초를 사용하지 않고 강관 파이프를 지반에 매립한 가설울타리 골조에서 횡력에 대한 저항성능을 향상시키기 위해 사용하는 가새와 보조말뚝의 최적위치를 이론적으로 구하였다. 가설울타리를 이루는 부재들의 자중에 의한 영향은 적기 때문에 골조에 작용하는 하중은 풍하중과 균중하중만 적용하였다. 기본형태의 해석을 바탕으로 효과적인 지지형태를 제안하고자 3가지 보강형태에 대한 유한요소 해석을 통해 기존형태와의 효율성을 알아보았다.

2. 가설울타리 골조의 해석

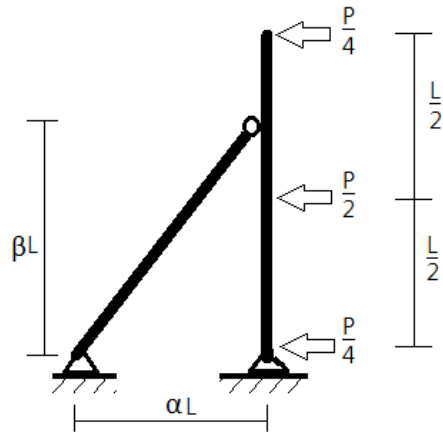
일반적인 가설울타리 골조의 형태는 Fig. 1과 같으며 부재배치 및 기본적인 부재사이즈는 전문작업자에 의해 제시된다. 본 연구에서는 일반적인 부재배치를 이론적 방법으로 검토하고 구조적 효율성을 향상시키기 위해 부재배치 형태를 변형하여 구조해석을 수행하였다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 가설울타리는 메탈판넬과 수평지지대(ledger)를 주기둥에 고정시키고 주기둥은 2m 간격으로 약 90cm 매립하여 설치한다. 가설울타리 골조의 강성은 수평하중을 지지하는 주기둥과 수평지지대로 이루어져 횡방향 강성이 매우 약하므로 매 기둥 또는 4m 간격으로 가새 보강한다[1].



[Fig. 1] Typical temporary fence frame

주기둥의 보강 위치를 선정하기 위하여 Fig. 2와 같이 단순화된 골조를 이론적으로 분석하였다. 주기둥은 실제 시공시에 단일 파이프를 시공하지 않고 매립하는 짧은 파이프와 판넬을 지지하는 긴 파이프로 분리하여 시공하기 때문에 실제 조건에 적합하도록 기둥의 지지점을 힌지로 가정하였다. 여기서 전체하중(p)의 절반은 중간 수평지지대에 작용하고 나머지는 절반씩 위와 아래의 수평지지대에 작용시켰다. 주기둥과 보조말뚝과의 거리는 αL 이고 가새 부재의 수직투영길이는 βL 이다.



[Fig. 2] Analytical model of fence frame

평형조건을 이용하여 주기둥의 모멘트를 하중 p로 나타낸 값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

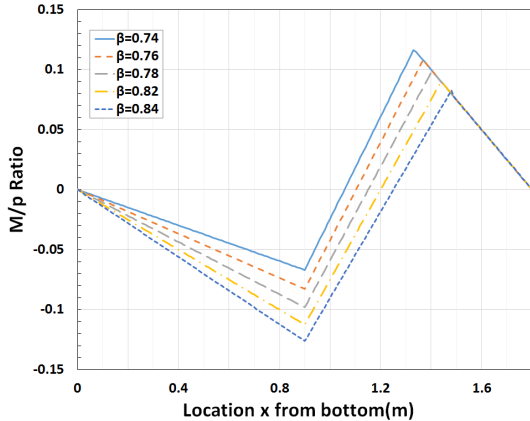
$$\begin{aligned} \frac{M}{p} &= \left(\frac{1}{2\beta} - \frac{3}{4}\right)x & (0 < x \leq \frac{L}{2}) \\ &= \left(\frac{1}{2\beta} - \frac{1}{4}\right)x - \frac{L}{4} & (\frac{L}{2} < x \leq \beta L) \\ &= \frac{1}{4}(L-x) & (\beta L < x \leq L) \end{aligned} \quad (1)$$

주기둥에 작용하는 모멘트의 분포를 보기 위해 $L=1.8m$ 일 때 식 1을 나타내면 Fig. 3과 같다. 최적의 β 값을 구하기 위해 식 1에서 최대 정(+)모멘트와 최대 부(-)모멘트의 크기가 같다고 하면 다음과 같은 식을 나타낼 수 있다.

$$-\left(\frac{1}{2\beta} - \frac{3}{4}\right)\frac{L}{2} = \frac{1}{4}(L - \beta L) \quad (2)$$

식 2에서 $\beta=0.78$ 이다. 즉, 최적의 값은 L 에 관계없이 0.78이며 Fig. 3에서 이를 확인할 수 있다.

골조의 평형조건과 탄성좌굴하중 공식을 이용하면 가새에 작용하는 축력(F)과 탄성좌굴하중(P_{cr})을 다음과 같이 나타낼 수 있다.



[Fig. 3] M/p ratio according to β ($L=1.8m$)

$$F = \frac{1}{2}p \sqrt{\frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\beta^2}} \quad (3)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \frac{1}{\alpha^2 + \beta^2}$$

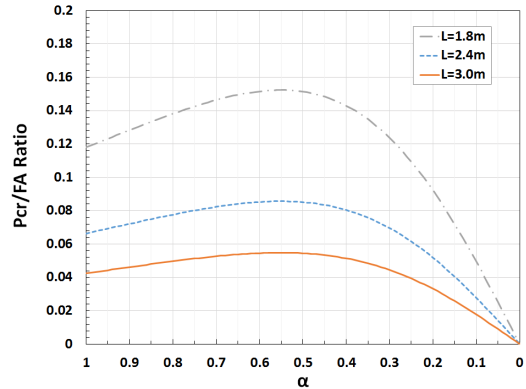
식 3은 다음과 같이 α 와 β 로 표현할 수 있다.

$$\frac{P_{cr}}{F \cdot A} = \frac{\alpha\beta}{L^2(\alpha^2 + \beta^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (4)$$

여기서

$$A = \frac{2\pi^2 EI}{p}$$

Fig. 4와 같이 식 4를 그래프로 나타낸 결과, 가새의 탄성좌굴하중은 α 가 0.55일 때 최대가 되는 것으로 나타났다. 따라서 가새 부재의 경사각도는 54.8° 가 가장 효율적이다.



[Fig. 4] Pcr/FA ratio according to α ($\beta=0.78$)

3. 보강된 가설울타리의 구조해석

기본적인 형태의 가설울타리를 보강하기 위해 Table 1과 같이 3가지 형태의 보강 골조를 제안하고 이들의 구조적 효율성을 검토하기 위해 유한요소해석법을 이용한 구조해석을 수행하였다. 해석결과는 주기동의 최대 모멘트 및 횡변위와 가새 부재의 축력을 중심으로 비교하였다.

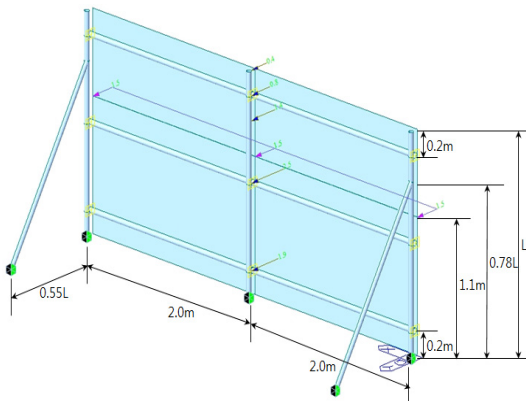
[Table 1] Configuration of reinforced fence frames

Type	Layout of post and bracing (plan & section view)
BAS (Basic)	
EVS (Every single)	
EOD (Every other double)	
EOM (Every other mixed)	

일반적인 가설올타리 골조 형태인 BAS 타입은 가새가 주기등을 하나 건너마다 설치된 형태이다. BAS 타입에 매 주기등마다 가새를 설치한 형태가 EVS 타입이며, BAS 타입의 가새 설치위치의 중간부분에 보조 가새를 설치한 형태가 EOD 타입이다. EOM 타입은 BAS 타입에서 주 가새가 없는 주기등에 보조 가새를 수평지대의 위치에 설치한 형태이다.

유한요소해석에는 MidasGen ver.825[5] 프로그램을 이용하였으며, Fig. 5는 가장 기본이 되는 BAS 타입의 구조 해석모델을 나타낸 것이다.

이때 Fig. 2의 이론해석에서 적용한 하중과 Fig. 5의 해석모델에 적용한 KBC2009에 의한 풍하중에 약간의 차이가 존재하나 그 차이는 미소하다. 이에 따라 본 연구에서는 Fig. 5에서 보듯이 가새의 위치를 2장에서 기술한 바에 따라 지면으로부터 0.78L, 주기등으로부터 0.55L 떨어진 위치로 설정하였다.



[Fig. 5] FEM analysis model of BAS type

기둥과 가새는 보요소를 사용하였고 판넬과 수평지대, 수평지대와 기둥이 접촉하는 점은 강체 링크 요소로 연결하였다. 골조에 작용하는 하중과 골조를 구성하는 부재의 재원은 Table 2와 같다.

Table 1의 4가지 타입에 대해 주기등의 높이를 1.8m, 2.4m, 3.0m로 변경한 모델을 대상으로 구조해석을 수행하였다. KBC2009[6]의 풍하중과 TWF[4]의 균중하중을 사용하중 상태로 조합하여 적용하였다. 광고판에서는 바람이 판넬에 접촉하는 각도에 따라 비틀림현상도 일으키지만[7], 본 연구에서는 바람이 판넬에 직각으로 작용하는 경우만 고려하였다.

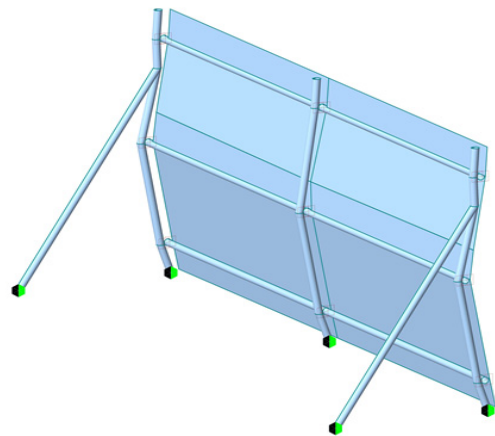
[Table 2] Load and dimension of frame

Parameter	Applied Value
L	1.8m, 2.4m, 3.0m
Material	SPP(Carbon steel pipes for ordinary piping, Modulus of Elasticity : 2.05E+8kN/m ²)
Section (post, ledger)	P48.6×2.3(D : 48.6mm, t : 2.3mm)
Thickness (panel)	t : 12mm
Wind Load(WL)	KBC2009(Exposure Category : B, Basic Wind Speed : 30, Importance Factor : 1.0)
Crowd Load(CL)	Design guide of hoardings(1.5kN/m at a height of 1.1m above the ground area)
Load Combination	1.0WL+1.0CL

4. 해석결과

4.1 가설올타리 골조의 횡변위

기본 모델인 BAS 타입의 변형형상은 Fig. 6과 같다. 풍하중의 분포형태상 가장 큰 풍하중이 작용하면서 균중하중도 중첩해서 적용되는 중앙부 수평지대에서 가장 큰 변위가 발생하였으며 지지되지 않은 기둥 단부의 변위도 크게 나타났다.



[Fig. 6] Deflected shape of unit frame(BAS type)

각 타입별 최대변위는 Table 3과 같다. BAS와 EVS 타입은 중앙부 수평지대 부위에서 최대 변위가 발생하였으며, EOD와 EOM 타입은 기둥 단부에서 최대 변위가 발생하였다.

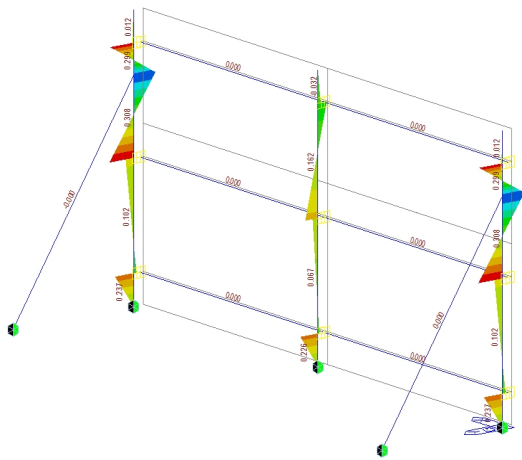
[Table 3] Maximum lateral deflection(mm)

Type	Fence Height		
	1.8m	2.4m	3.0m
BAS	1.251	3.442	6.825
EVS	1.111	3.119	6.162
EOD	0.388	0.491	1.034
EOM	0.359	0.550	1.006

일반적으로 적용되는 횡변위 제한기준(H/500 이하)을 적용할 경우, 가설울타리 높이가 2.4m 이하인 경우에는 보편적으로 사용하는 BAS 타입도 문제가 없는 것으로 나타났다. 그러나 3.0m 이상인 경우에는 BAS 타입은 물론 EVS 타입도 적절치 않은 것으로 나타났다. 또한 주기동 높이와 관계없이 중앙부 수평지지대를 지지하는 가새를 보강하는 방식인 EOD와 EOM 타입이 횡변위의 감소에 좀 더 효율적이라 할 수 있다.

4.2 주기동의 휨모멘트

BAS 타입의 휨모멘트는 Fig. 7과 같다. 가새로 지지되는 부위와 중앙부 수평지지대 부위에서 가장 큰 모멘트가 발생하였다.



[Fig. 7] Moment diagram of BAS type

각 타입별 주기동의 최대 모멘트는 Table 4와 같다. 최대 모멘트의 경우에도 EOD와 EOM 타입의 보강방식이 효과적인 것으로 나타났다.

[Table 4] Maximum moment of post(kN · m)

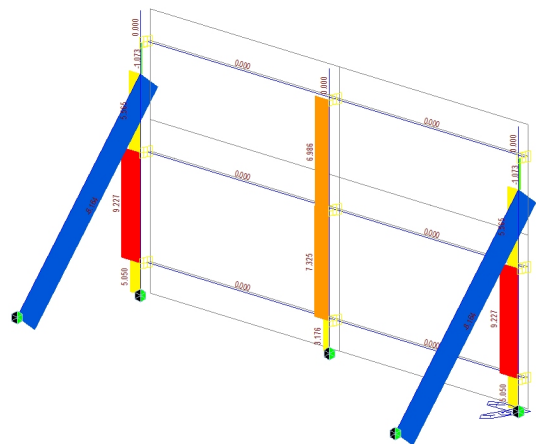
Type	Fence Height		
	1.8m	2.4m	3.0m
BAS	0.308	0.538	0.727
EVS	0.277	0.446	0.595
EOD	0.171	0.133	0.233
EOM	0.116	0.163	0.259

이때 중앙부 수평지지대가 균중하중 작용위치인 지상 1.1m 보다 아래에 위치하는 경우(1.8m 모델)에는 EOM 타입의 보강이 최대 모멘트 저감에 유리하며, 그 외의 경우(2.4m, 3.0m 모델)에는 EOD 타입이 유리한 것으로 분석되었다.

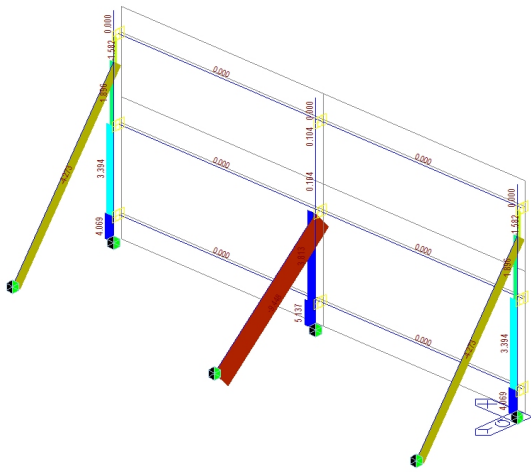
4.3 가새 부재의 축력

BAS 타입의 축력도는 Fig. 8과 같으며 EVS 타입의 경우도 유사하다. 그러나 보조 가새를 설치하는 EOD, EOM 타입의 경우에는 Fig. 9와 같이 상대적으로 길이가 짧아 높은 축강성을 갖는 보조 가새에 축력이 집중되었다.

각 타입별 가새 부재의 최대 축력과 좌굴하중 대비 축력비율은 Table 5와 같다. 기본 모델인 BAS 타입의 좌굴하중 대비 축력비율은 13.3%~42.1% 수준이었으나, EOD 타입의 경우에는 5.4%~19.2% 수준으로 훨씬 개선된 결과를 보였다. 그러나 EOM 타입의 경우 9.4%~36.3% 수준을 나타내 상대적으로 축력에 대한 보강효과가 떨어지는 것으로 나타났다.



[Fig. 8] Axial force diagram of BAS type



[Fig. 9] Axial force diagram of EOM type

[Table 5] Maximum axial force and capacity of bracing(kN)

Type	Fence Height					
	1.8m		2.4m		3.0m	
BAS	8.164	13.3%	8.576	24.7%	9.336	42.1%
EVS	5.525	9.0%	5.890	17.0%	6.483	29.2%
EOD	5.392	5.4%	6.793	11.9%	7.022	19.2%
EOM	9.448	9.4%	12.572	22.0%	13.293	36.3%

5. 결론

본 연구에서는 가설울타리에 대한 구조검토를 통해 가새의 최적 설치위치를 분석하고, 일반적으로 사용되는 타입과 보강 타입에 대한 구조해석을 통해 가장 효과적인 가설울타리 형태를 제안하였다. 본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 주기동을 지지하는 가새의 최적 수직위치를 분석한 결과, 주기동의 하부로부터 7/9(0.78) 위치가 가장 적절한 것으로 나타났다. 따라서 일반적으로 사용하는 주기동 상부로부터 1/3~1/4 위치보다는 좀 더 위로 설치하는 것이 바람직하다. 또한 가새를 지지하는 기초의 최적 수평위치는 주기동 길이의 0.55배 떨어진 위치가 가장 적절한 것으로 나타났다. 최적 수직위치(0.78L)와 수평위치(0.55L)로부터 가새의 경사도는 54.8°가 가장 적절하다.
- (2) 주기동의 횡변위에 대한 보강을 고려하는 경우 매 기둥마다 가새를 설치하는 형태의 EVS 타입보다

는 보조 가새를 설치하는 형태의 EOD와 EOM 타입의 보강이 더 효과적이다. 또한 주기동의 모멘트에 대한 보강을 고려하는 경우에도 횡하중의 작용 위치에 따라 차이가 있긴 하나 역시 보조 가새를 설치하는 형태의 EOD와 EOM 타입의 보강이 더 효과적이다.

- (3) 가새의 축력에 대한 보강을 고려하는 경우에는 EOD 타입의 보강이 가장 효과적이다.
- (4) 일반적으로 사용되는 BAS 타입 가설울타리는 2.4m 높이까지는 구조적 문제없이 사용가능하다. 그러나 보강이 필요한 경우에는 BAS 타입 가새 설치위치의 중간부분에 보조 가새를 설치하는 형태인 EOD 타입의 보강이 가장 효과적이다.

References

- [1] KICT, Standard Estimate for Construction Work, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 2006.
- [2] R. T. Ratay, *Temporary Structures in Construction*, 3rd Ed., McGraw Hill, 2012.
- [3] Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, *Standard specification for architectural works*, 2013.
- [4] Temporary Works Forum, "Hoardings - A guide to good practice", TWf 2012:01, October, 2012.
- [5] MidasGen, *User's manual*, 2013.
- [6] AIK, *Korean Building Code-Structural*, Architectural Institute of Korea, 2009.
- [7] A. Agrawal, A. K. Ahuja, P. K. Gupta, "Effects of wind incidence angle on wind loads on hoardings", *Journal of Academia and Industrial Research*, Vol. 1(11), pp.706-708, 2013.

김 영 찬(Young-Chan Kim)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울대학교 건축학과 (공학사)
- 1985년 2월 : 서울대학교 대학원 건축학과 (공학석사)
- 1995년 5월 : West Virginia University 토목공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

합성구조, 철골구조

이 재 철(Jae-Cheol Lee)

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울대학교 건축학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 서울대학교 대학원 건축학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 서울대학교 대학원 건축학과 (공학박사)
- 2000년 5월 ~ 2003년 2월 : 현대 건설 기술연구소 선임연구원
- 2003년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 건축공학과 부교수

<관심분야>

건축IT, BIM