

## 가설공사 비계의 정적구조 해석에 관한 연구

### A Methodology of the Static Analysis for Scaffolding Structure

손 기 상\*  
Gi-Sang Son

#### ABSTRACT

Accidents, especially fatal accidents in construction work are being not reduced, but increased, despite of more concerns of related authority and companies themselves.

It is investigated that major reasons of which these accident increase are caused to set up wrong temporary structures: scaffolding with insufficient components or safety guards.

Approximately 50% of falling accident, one of three major accidents: falling collapsing of structures or soil, accidents from heavy equipments, are due to defects of temporary structures.

Therefore, technical standards for these temporary structures made by the ministry of labour in 1984, should be promptly revised because of its insufficient considerations for structural concepts.

A method to effectively ensure the construction safety are shown through an experimental method, mathematical analysis structural planning against overturning and collapsing of scaffolding components, consideration of safety factor in loading, formulations of safety structure against falling or dropping from schaffolding.

#### 1. 서 론

산업의 선진화 추세에도 불구하고 건설재해는 좀처럼 감소되지 않고 있다. 더구나 최근에는 신도시 등 대규모 건설수요에 따라 오히려 증가되었다. 일본에서도 역시 건설재해는 크게 감소되지 않고 있다. 이들 재해에 대한 원인분석 결과를 수년간 조

사 관찰한 결과로 많은 부분이 가설물의 잘못에 기인된 것으로 확인되고 있다. 즉 추락재해, 붕괴재해, 중기재해 등 3대 재해중 하나인 추락재해의 약 50%는 가설구조물에 기인한 것으로 제시되고 있다. 바로 이들 가설구조물에 관한 기술지침인 노동부 고시 “가설공사 표준안전 작업지침”이 제정 당시<sup>1)</sup>와는 달리 기술적 재정이 긴요한 것으로 문제를 제기하고자 한다.<sup>1)</sup>

\* 한국산업안전공단 교육원

공학적 접근으로 이들 기술지침을 연구 분석하기 위해 그 실험방법 제시와 수학적 방법에 의한 비계 구성요소 해석, 전도 및 붕괴방지를 위한 구조적 대책제시, 하중에 따른 안전율 고려, 도식적 추락 및 낙하 방호반의 공식제시 등을 통하여 실제 건설 현장에서 비용을 절감하면서 상황에 따라 효율적으로 건설안전을 확보하는 방법을 제시하는데 본 연구의 목적이 있다.

## 2. 지침제시 실험

### 2.1 구성요소 실험

비계구성요소(components)에 관한 각 실험은 최소 5회 실시하고 결과를 통계처리하면 실험은 정방향에서 먼저 하중을 작용시키고 나서 부(-)방향에서 전도하중을 주도록 하였다.

실험초기에는 사용하중(service load)에서 재하하고 다음에 1.2×사용하중(service load)에서 실시한다. 연속적인 주기중에 피크 처짐(peak deflection)의 5%이상 증가를 보이지 않는 것으로 하였다.

### 2.2 전반조립체 실험

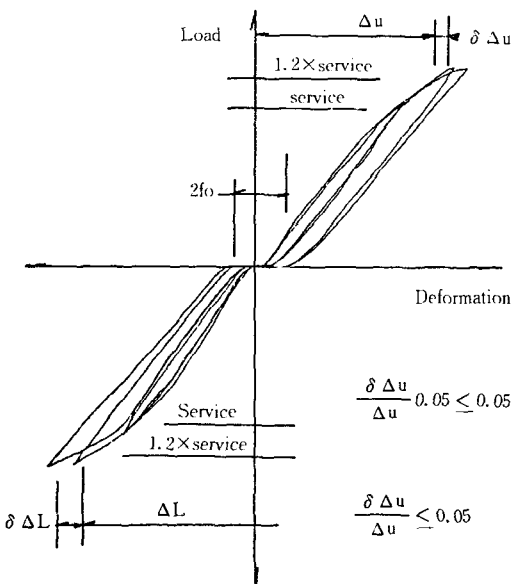


Fig. 1 Hysteresis loops

전반조립체(global system)은 강관비계기둥(standard), 가로 연결대(transoms), 가로재(ledger)와 가새부재들은 실제 비계에 사용되는 구성요소와 같도록 하였다.

- (1) 베이스 잭은 모든 축방향으로 편 접합이어야 한다.
- (2) 정면에 고정하는 벽이음은 제작자 시방증 가장 불리한 형태를 취하고 편 접합이어야 한다.
- (3) 면내, 면외 좌굴이 일어나는 파괴 모우드가 발생토록 설계해야 한다.

## 3. 좌굴실험

특별한 좌굴모우드에 대한 좌굴변수 결정을 위해서 최소한 3개 실험을 동일 구조물에 대해서 실시해야 하였고, 산포도가 10% 이상이면 최소한 5개 실험을 실시하여 보강하였다.

$$R_d R_k / r_m \dots\dots\dots (1)$$

단,  $R_d$  = 허용좌굴내력

$$R_k = 0.85 \times R_u$$

$R_u$  = 3개 조정 파괴하중 중의 최소값

$r_m$  = 재료의 저항 부분 안전율

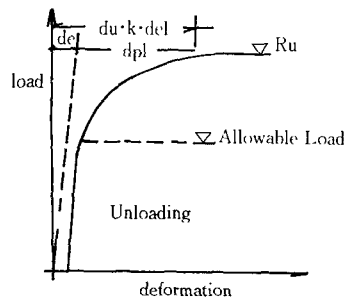


Fig. 2 Definition of the ultimate value  $R_u$

실험에서 구한 종국 강도  $R_u$ 의 평가방법은 "Fig. 2 Definition of the ultimate value  $R_u$ "을 이용하여 설명되고 있는데 하나의 연결부에 대한 표준적인 하중-변형 커브를 제시하고 있다. 실험중에 구성요소는 부재하(unloading)경로가 구획되고 그 경사가 측정되도록 하중의 사용하중(service load)에 도달하면 부재하 시켜야 한다. 이것이 일단 허용되면 재하는 시작되어 파괴가 생길 때까지 계속

된다.

Ru에 대한 값은 얻기 위하여 유동성이 취해진 후 재한커브의 시작점에서 하나의 선이 그려지는데, 이 선은 부재하 커브와 같은 경사를 갖는다. 이선은 그림 Fig. 2의 파선이고 구성요소의 자연 탄성 변형을 나타낸다.

중국내력 Ru는 총변형 du가 다음과 같이 주어지는 내력이다.

$du = K \cdot \text{del}$  그리고  $< d_{\text{max}}$   
 단,  $K = 6$  또는  $d_{\text{max}}/d_{\text{el}}$ 중 작은 값  
 $d_{\text{max}} = \text{최대 측정변형}$   
 일반 부분 안전율  $r_m$ 에 부가하며, 2 차율  $r_{m2}$ 는 평균비율값에 따라 적용된다.

$r_{m2} = 1 + 0.12(6 - K)$   
 $r_{m2 \text{ total}} = r_m \cdot r_{m2}$   
 대소성변형을 갖는 하중-변형 커브에 대하여  
 $K = 6, r_{m2} = 1, r_m \text{ total} = 1.0 r_m$   
 소성변형이 없는 하중-변형 커브에 대하여  
 $K = 1, r_{m2} = 1.6, r_m \text{ total} = 1.6 r_m$   
 전 범위의 하중-변형 커브들에 대하여  $6 \times \text{del}$ 보다 큰 변형을 갖는 연결장치는 허용되지 않는다.

좌굴해석의 기초가 되는 탄성 좌굴 변형 모우드 공식을 구하여 각 경제조건에 따른 좌굴길이를 구한다.

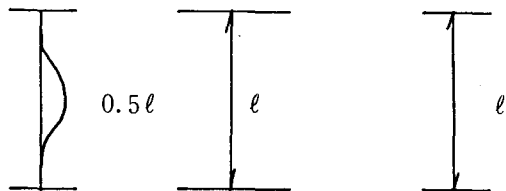


Fig. 3 Buckling analysis of scaffolding column

3.1 탄성좌굴공식

$\rho$  곡률반경  
 $\frac{1}{\rho} = \frac{y''}{[1 + (y')^2]^{3/2}} = y'' \dots \dots \dots (2)$

미소변형일 때는  $y' = 0$ 으로 본다  
 $\frac{1}{\rho} = \frac{-M}{EI} \dots \dots \dots (3)$

$EIy'' = -M$  (-) 부호는 좌표축을 위한 것임

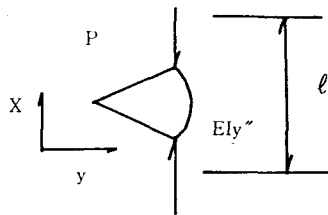


Fig. 4 Geometrical system of scaffolding column

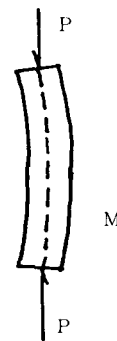


Fig. 5 Buckling mode of column section

$M = p \cdot y$   
 $EIy'' + p \cdot y = 0$   
 $y'' + K^2 \cdot y = 0 \dots \dots \dots (4)$   
 $K^2 = P/EI$

$K = \text{곡률} \frac{1}{k} = \rho$

$y = e^{mx}$ 로 가정  
 $y' = me^{mx}$   
 $y'' = m^2 e^{mx}$

① 에 대입하면  
 $\therefore (m^2 + k^2) e^{mx} = 0$

$m = \pm ik$   
 $y = A_1 e^{ikx} + A_2 e^{-ikx}$   
 $e^{ikx} = \cos kx \pm i \sin kx \dots \dots \dots (5)$

(Euler's Formula)  
 $y = (A_1 + A_2) \cos kx + i(A_1 - A_2) \sin kx$   
 $= A \cos kx + i B \sin kx \dots \dots \dots (6)$

Boundary Condition  
 $x = 0, y = 0 \rightarrow A = 0, y = B \sin kx$   
 $x = l, y = 0 \rightarrow B \sin kl = 0$   
 (B가 "0"이면 trivial solution)  
 $kl = n\pi (n = 1, 2, 3)$

$$K^2 = \frac{P}{EI} = \frac{n^2 \pi^2}{\ell^2} \dots\dots\dots (7)$$

$$P = \frac{n^2 \pi^2 EI}{\ell^2} \dots\dots\dots (8)$$

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI}{\ell^2} \quad (n = 1 \text{일때 Euler load}) \dots\dots\dots (9)$$

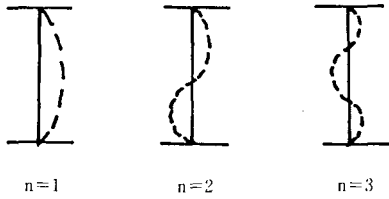


Fig. 6 General buckling mode of column

3.2 좌굴길이 선정

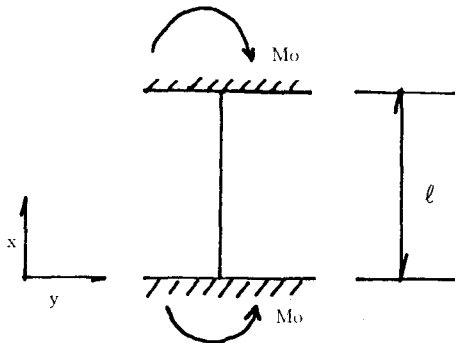


Fig. 7 Geometrical buckling system both end fixed

$$M = p \cdot y - Mo \dots\dots\dots (10)$$

$$EIy'' + p \cdot y = Mo$$

$$y'' + k^2 \cdot y = \frac{Mo}{EI} \dots\dots\dots (11)$$

$$y = y_c + y_p = A \cos kx + b \sin kx + \frac{Mo}{p} \dots\dots\dots (12)$$

경계조건(boundary condition)

$$y = 0, y' = 0, \text{ at } x = 0 \rightarrow B = 0, A = -\frac{Mo}{p}$$

$$y = \frac{Mo}{p} (1 - \cos kx) \dots\dots\dots (13)$$

두번째 B, C에서 보면

$$y = 0, \text{ at } x = \ell$$

$$\frac{Mo}{p} (1 - \cos k\ell) = 0 \dots\dots\dots (14)$$

$$\cos k\ell = 1 \rightarrow k\ell = 2\pi$$

$$k^2 = \frac{P}{EI} = \frac{4\pi^2}{\ell^2} \quad (\therefore k = \frac{2\pi}{\ell})$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(\ell/2)^2} \dots\dots\dots (15)$$

3.3 반곡점(Inflexion point)

$$M = 0 \rightarrow y'' = 0$$

$$\cos kx = 0 \dots\dots\dots (16)$$

$$kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$$

$$k = \frac{2\pi}{\ell} \quad (\cos k\ell = 1 \rightarrow k\ell = 2\pi)$$

$$x = \frac{\pi}{2} \times \frac{\ell}{2\pi}, \frac{3\pi}{2} \times \frac{\ell}{2\pi}$$

$$= \ell/4, 3/4 \ell$$

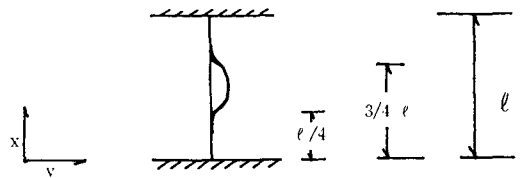


Fig. 8 Buckling behavior of both end fixed

4. 베이스 잭키 경계조건 및 해석

베이스 잭키와 비계기둥 사이에 연결 크리어런스 (clearance)에 일관된 각도에 수직으로 기울고 확장된 것으로, 간주해야 한다.

$$\tan = (Di - do, b) / \ell_o \dots\dots\dots (17)$$

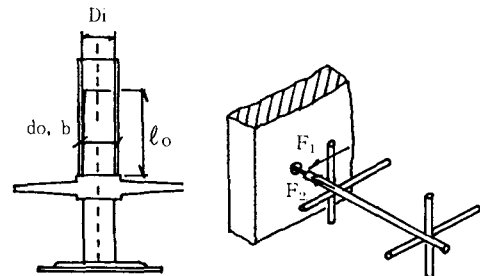


Fig. 9 Base jacks and anchoring forces

손기상

단,  $D_i$  = 비계기둥의 공칭내경  
 $d_o$  = 베이스 잭키의 공칭외경  
 $l_o$  = 겹침길이

시공상 보증될 수 있는 경우는 이 값을 미소한 것으로 간주할 수 있다.

(Fig. 8), 베이스 잭키는 경계조건으로 정면에 수평 또는 수직인 힘만 전달될 수 있다.

### 5. 비계구조 해석 및 실험

비계구조물이 하나의 면내에 있을지라도 면외 좌굴은 항상 면외구성 요소에 의해 발생된 하중의 영향으로 발생할 수 있음을 고려해야 한다. <sup>1)</sup>

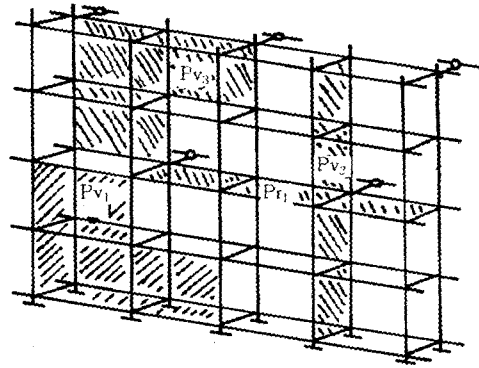


Fig. 10 Spatial system and planar substitutive systems

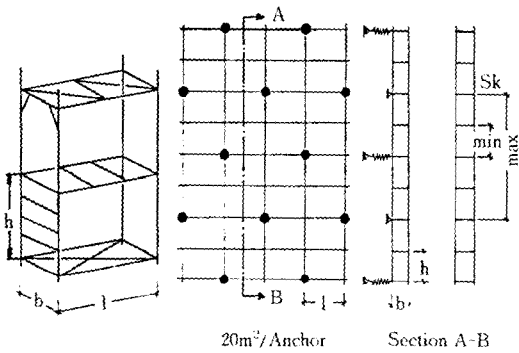


Fig. 11 Structural analysis of anchors

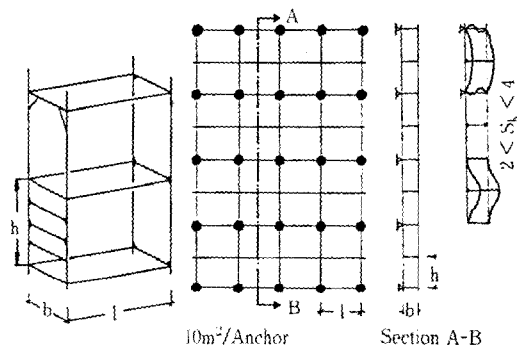
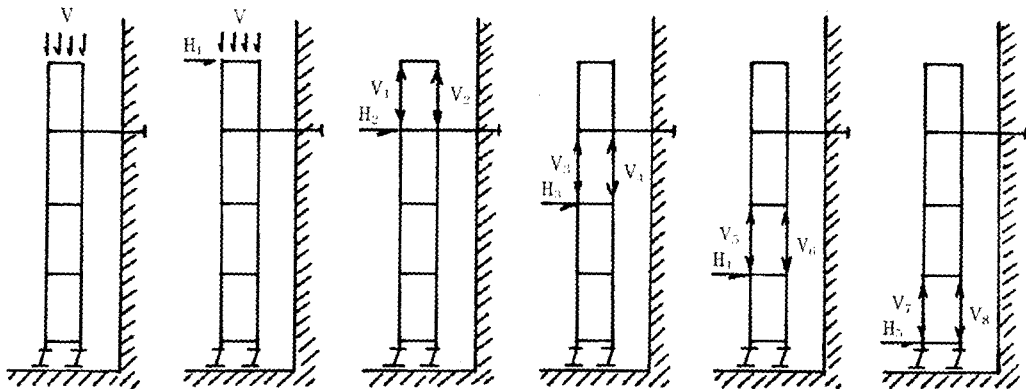


Fig. 12 Structural analysis of anchors



1. Load system

Substitute system

a) 
$$H_1 = \frac{\sum v}{100\sqrt{2}}$$

b) 
$$H_2 = \frac{V_1 + V_2}{100\sqrt{2}}$$

c) 
$$H_3 = \frac{V_3 + V_4}{100\sqrt{2}}$$

d) 
$$H_4 = \frac{V_5 + V_6}{100\sqrt{2}}$$

e) 
$$H_5 = \frac{V_7 + V_8}{100\sqrt{2}}$$

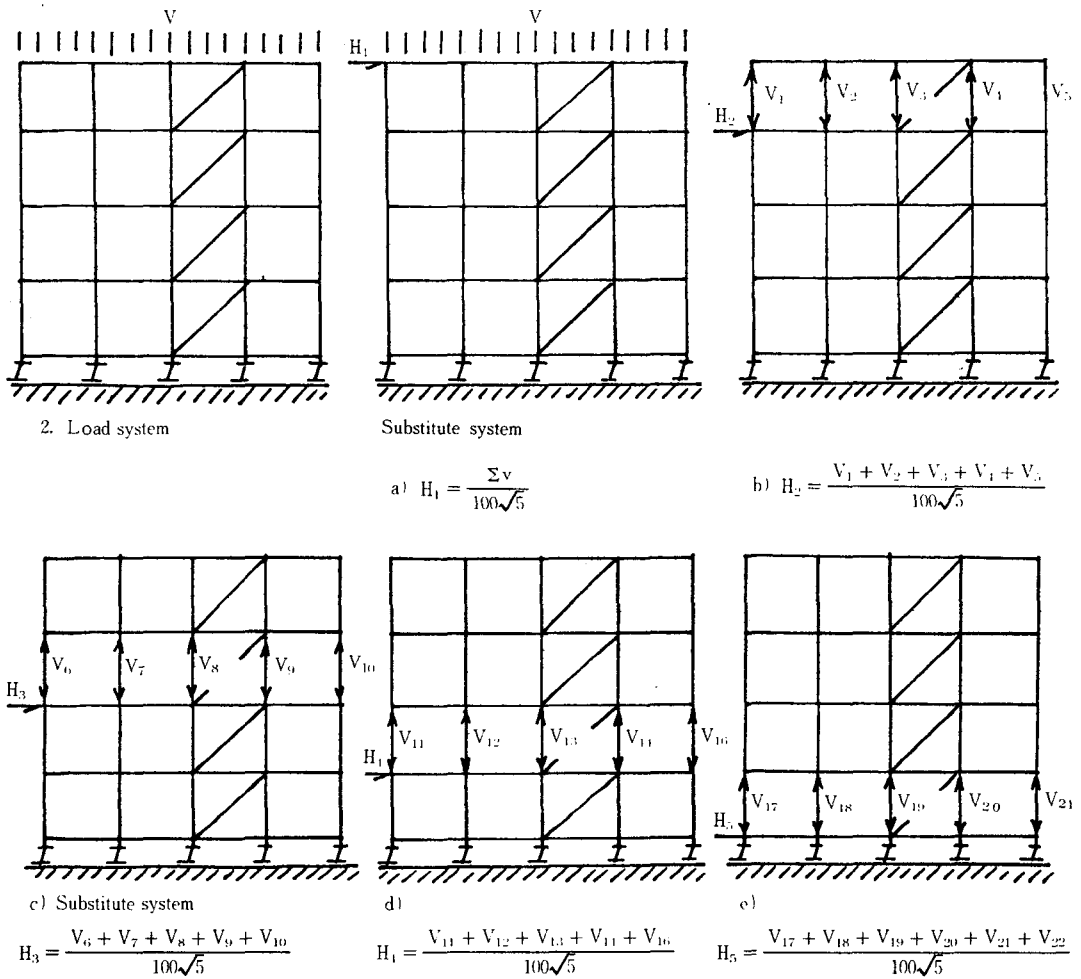


Fig. 13 Examples of Checking the Effects of Inaccuracies in Construction

비계기둥 연결(벽연결)은 꽃히는 부분이 영구히 비계기둥에 고정되고 스피곳(spigot)의 중첩길이가 최소한 150mm 이상이면 강접합으로 가정될 수 있다.<sup>주2)</sup>

## 6. 하 중

이상의 해석과 실험을 통하여 그결과들이 다음 세항목으로 요약되었다.

### 6.1 일 반

기초비계와 그 구성요소들이 설계되는 하중은 다음과 같다.

- (a) 자중
  - (b) 발판의 적재하중<sup>3)</sup>
  - (c) 정면(입면)에 수직 또는 평면인 하중
  - (d) 시공중 부정확성에 따른 하중
- 비계의 조립 및 해체시 마다 상기상황에 대한 안

주2) 독일 Technical Universität Berlin 방문연구 수행시 참여한 것임

진조건의 만족하는지를 체크해야 한다.

### 6.2 부분안전율

중국 한계상태에 다음의 부분 안전율이 사용되어야 한다.

- (1) 영구하중일 경우(자중)

$$r_f = 1.35$$

- (2) 변화하중일 경우(충격하중, 풍하중)

$$r_f = 1.0$$

### 6.3 사용한계상태

발판의 처짐은 스펠(비계기둥간격)의 1/100을 초과해서는 안된다. 집중하중이 작용되고 스펠이 2m 이상시에는 재하측과 불재하측 최대치 차이가 20mm를 초과해서는 안된다. 난간대의 한계는 스펠에 관계없이

- (1) 294kg(0.3KN) 집중하중 작용시 35mm 이상 탄성처짐이 없도록 한다.
- (2) 1,225kg(1.25KN) 집중하중 작용시 어느방향으로든 20mm 이상 파손, 변위가 없도록 한다.

## 7. 결 론

이상과 같은 실험해석과 이론해석을 통하여 가설 비계의 구조적 안전배치의 적정성을 연구하였다. 이를 개정 기술지침 작성에 적용키 위한 결론을 다음과 같이 얻게 되었다.

- 1) 가설공사 표준안전 작업지침상의 표준안전 난간 제작지침 개정시 관련근거를 제시하여 현장에서 가변적 응용이 가능토록 비용절감 안전기술 제시가 필요하다.
- 2) 과다 설계관점에서 기존 비계기둥 간격 기준에 관한 실험결과를 기본으로한 개정으로 경제 안전확보 추진방향 전환을 유도해야 한다.

기술지침 개정의 필요성은 물론 실질적 적용을 위해 관련 실험실습 장비가 확충된 상태에서 상기와 관련한 연구의 확장이 이루어져 최소한 권장사항등을 보급시키는 것도 시급한 후후 과제라 하겠다.

## 참 고 문 헌

- 1) 김상곤, 이민우 공역 토목 건축 가설구조물의 해설, 명문사, pp. 57~60, 1992.
- 2) 池田光男 外, 建築假設物 構造計算入門, 彰國社, pp. 37~46, 1988.
- 3) 노동부, 노동부 고시 84-37, 92-49 가설공사 표준 안전 작업지침 한국산업안전공단, 1992.
- 4) Robert T. Ratay, Handbook of temporary structures in construction, McGraw Hill Book Company, pp. 16.1~16.59, 1984.
- 5) Dr. Ing.G.E. Vlölkel, second draft of HD 10XX service and working scaffolds made of prefabricated elements, CEN/TC53-WG 2-No. 031, pp. 1~31, 1991.