

테이퍼드 다이아그리드 초고층 구조물의 형상 최적설계기법 개발

A Development of a Shape Optimization Design Techniques for the Diagrid Tapered Tall-Building

한 상 을¹⁾ · 이 한 주²⁾ · 유 종 혜³⁾ · 정 소 영⁴⁾
Han, Sang Eul · Lee, Han Joo · Ryu, Jong Hye · Jeong, So Young

요 약 : 본 논문에서는 파라메트릭 기법을 이용한 최적설계 알고리즘을 사용하여 최근 들어 다양한 형태를 지니고 있는 비정형 초고층 구조물의 최적 다이아그리드 각도를 찾는 것에 대해 연구하였다. 다이아그리드는 비정형 초고층 구조물을 구성하는 대각방향의 부재로 수직하중과 수평하중에 대해 효과적으로 대응할 수 있는 구조 시스템으로써 다이아그리드의 각도를 최적화 하여 비정형 초고층 구조물의 최대강성을 찾는 것에 목적을 두었다. 본 연구에서 검증예제로 비정형 형상인 원통형 구조물과 테이퍼드 원형 구조물에 다이아그리드 최적설계 알고리즘을 적용하여 변위를 효과적으로 제어하는 다이아그리드의 최적각도를 검토하였다.

ABSTRACT : In this paper, the optimal diagrid angle of atypical tall buildings has been found using diagrid optimization technique which is based on parametric algorithm. A diagrid is a diagonal grid which can be seen among atypical tall buildings and structures which effectively resist horizontal and vertical direction loads. Therefore, it is also the objective of this study to find the maximum stiffness of atypical tall buildings by optimizing diagrid angle. Moreover, this study touches on both cylindrical and tapered off cylindrical structures, as shown in the examples to check the compatibility of optimum diagrid angle, which effectively resists horizontal deformation on top by optimization algorithm.

핵심용어 : 다이아그리드, 초고층 구조물, 파라메트릭, 형상최적화, 최적각도

KEYWORDS : diagrid, tall-building, parametric, shape optimization, optimum angle

1. 서론

21세기 들어 건설되고 있는 초고층 구조물의 형상은 그 형태에 있어서 단순한 형태를 벗어나 비정형의 형태를 갖는 경향이 점점 더 심화되고 있는 실정이다. 초고층 구조물의 비정형 경향의 첫 형태인 끝이 테이퍼드 형상(Tapered Shape)의 구조물을 시작으로 기울어진 형상(Tilted Shape), 비틀어진 형상(Twisted Shape) 등 구조물의 표면이 평면에서 곡면에 가까운 형상으로 진화하고 있다. 이러한 형태의 변화를 구조적으로 만족시키기 위해서는 기존의 구조시스템은 한

계가 있으며 많은 개선의 노력이 필요하게 되었다.

최근 이러한 구조물의 형태 변화에 부응하기 위해 기둥과 가새 역할을 동시에 수행하는 다이아그리드(Diagrid) 형태의 구조가 많이 제안되고 있다. 다이아그리드 시스템과 같이 대각부재를 이용한 튜브시스템을 활용하면 입면의 형상을 더욱 자유롭게 표현하는 것이 가능하게 된다.

그러나 구조물의 각층에 따라 부재가 받는 하중의 크기는 달라질 것이고 또한 저층에 비해서 고층으로 갈수록 평면이 감소하는 테이퍼드 형태의 경우는 평면의 외각을 둘러싸는 다이아그리드 부재들의 크기가 달라진다. 이러한 변화를 고려

1) 교신저자. 인하대학교 건축공학과 교수, 공학박사
(Tel:032-860-7592, Fax:032-866-4624, E-mail: hsang@inha.ac.kr)
2) 주아이스트 기술연구소 팀장, 공학박사(han_joo@hanmail.net)
3) 인하대학교 건축공학과 석사과정(kiajota@naver.com)
4) 인하대학교 건축공학과 석사과정(tuddl86@naver.com)

본 논문에 대한 토의를 2011년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

하여 각 접합부에서 효율적인 하중 전달을 위한 부재들 간의 적절한 각도를 표준화 하는 것이 필요하다.

이렇듯 다이아그리드의 각도가 중요시됨에 따라 다양한 각도의 구조물에 관한 연구가 이루어졌다. 국내의 경우, 계획단계에서 다이아그리드 시스템 적용을 위한 접합부 성능에 관한 실험 및 해석(배재훈 등, 2010)을 진행하였으나, 이는 특정설계 사례에 대한 접합부의 성능실험으로 보다 다양화된 형태의 다이아그리드 시스템의 적용에는 한계가 따른다. 또한 기존연구(이수곤, 2008; 주영규 등, 2008; Moon 등, 2007)들은 대부분 정사각형 단면의 정형 형상을 가진 초고층 구조물에 대한 연구로 이루어져 있다. 최근 초고층 구조물의 비정형화 경향에 따른 연구는 미비한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 초기설계단계에서 외력에 효과적으로 저항하는 다이아그리드의 최적각도를 결정할 수 있는 형상최적설계 알고리즘을 개발하고, 이를 원통형과 구조물의 표면이 곡면에 가깝고 고층으로 갈수록 평면이 감소하는 테이퍼드 형태의 다이아그리드 초고층 구조물에 적용하여 적용예제별로 가장 효율적인 최적의 다이아그리드 각도를 제시하고자 한다.

2. 다이아그리드 형상생성 알고리즘

2.1 다이아그리드의 형상생성 정식화

먼저, 다이아그리드란 철골조 고층 구조물을 구성하는 대각선 방향으로 지지하는 보(기둥) 형태의 반복적인 삼각형 요소를 말한다. 이러한 삼각형 형태의 다이아그리드 구조 시스템은 수직하중을 적절하게 배분하여 기초와 지반에 안전하게 전달할 뿐만 아니라 외력에 저항하며 구조물의 최외곽에 위치하여 바람이나 지진과 같은 수평하중에도 효과적으로 대응할 수 있는 시스템이다. 기존의 가새(Brace) 시스템과의 차이는 그림 1과 같이 간략화 할 수 있다. 가새 시스템은 주로 수평하중에 대해 저항하는 반면, 다이아그리드는 수평 및 수직하중에 대해서 모두 효과적으로 저항한다. 이 대각방향 보(기둥)인 다이아그리드의 경사는 전체 구조물을 따라서 하중의 흐름을 자연스럽게 한다. 따라서 가새 시스템보다 다이아그리드 시스템이 하중을 저항하는데 효율적이며, 다이아그리드는 하중의 흐름에 절대적으로 순응하므로 다이아그리드 각도가 시스템의 성능을 좌우하게 된다.

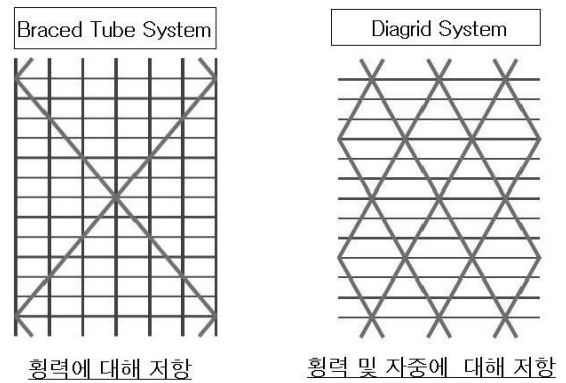


그림 1. 가새(Braced) 시스템과 다이아그리드 시스템

그림 2는 이해를 돕고자 평면이 사각형일 때 다이아그리드 구조물의 모듈을 나타낸 것이다. 다이아그리드의 형상을 생성하기 위해 필요한 구조물의 기본정보는 H (층수), r (평면의 지름)이다. 여기서 r 은 원의 지름이고, 만약 평면이 사각형이면 외접원의 반지름을 의미한다. 다이아그리드 설계를 위해 매개변수(Parameter)로 적용되는 필요정보는 HL (층고), n (한 층당 절점 수), δ_X (둘레방향 다이아그리드 절점사이 간격 수), δ_Y (높이방향 다이아그리드 절점사이 간격 수), TR (Tapered Ratio), α (다이아그리드 각도)등이 있다.

평면이 원형일 경우에도 그림 2와 같은 원리로 구조물이 구성된다.

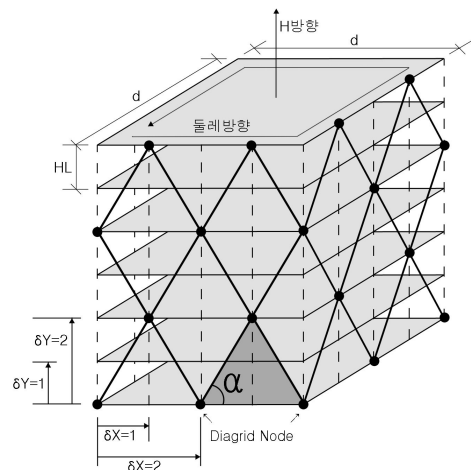


그림 2. 다이아그리드 구조물의 모듈

여기서 절점생성과 다이아그리드 각도에 가장 크게 영향을 미치는 매개변수는 δ_X 과 δ_Y , n 이다. 구조물에 다이아그리드가 적용되지 않는 부분이 없도록 하기 위해서는 몇 가지 조건이 필요하다. 첫째, 본 연구에서 다이아그리드 간격은 등간격으로 한다. 둘째, δ_Y 는 H 의 약수이다. 다이아그리드 절

점이 층과 층 사이에 위치하게 되면 조망권을 해칠 수 있게 되므로, 다이아그리드 절점이 슬래브에 위치하도록 하기 위해 δ_Y 는 H 의 약수여야 한다. 셋째, δ_X 는 $2\delta_Y$ 의 배수로써, δ_Y 값에 따라 최소값 $2\delta_Y = 2$ ($\because \min \delta_Y = 1$)과 최대값 n 을 갖는다. 마지막으로 다이아그리드가 형성되기 위한 n 의 최소 값은 2이고 짝수이다.

2.2 절점생성

절점생성을 위해 $N_1 = (x_1, y_1)$ 을 시작점으로 가정하고, 이때 x_1, y_1 은 각각 N_1 의 x 좌표와 y 좌표를 의미하고 값은 $x_1 = 0, y_1 = -r$ 이다.

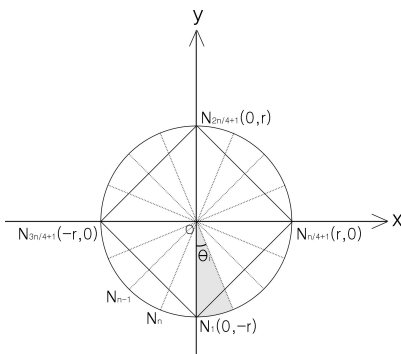


그림 3. 평면에서 절점 위치

$$N_k = (x_k, y_k) \tag{1}$$

여기서, N_k 는 k 번째 절점을 의미한다.

절점은 평면을 $\frac{n}{4}$ 한 부분을 기준으로 하여 대칭적으로 생성한다. 즉, $x-y$ 좌표상으로 봤을 때 1사분면, 2사분면, 3사분면, 4사분면의 절점은 서로 대칭으로 위치한다.

z 좌표의 경우 층고(HL)와 층수(H)에 따라 규칙적으로 나타나므로 z 좌표 생성에 관해서는 생략한다.

그림 4를 보면 원형 단면의 경우 절점이 원을 따라 생성되는 것을 확인할 수 있다. 이때, x, y 좌표의 증분량 Δx 와 Δy 는 비선형관계에 놓여있으며, θ_j 에 따라 그 값은 달라진다. 여기서 θ_j 는 하나의 단면에서 절점생성을 위한 매개변수로 적용된다.

원통형 구조물일 때 절점생성을 위한 기본 식은 다음 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} x_{n(i-1)+j} &= (x_1 + \Delta x_j) \\ y_{n(i-1)+j} &= (y_1 + \Delta y_j) \end{aligned} \tag{2}$$

시작점에 x, y 좌표의 증분량 Δx 와 Δy 를 더해가면서 다이아그리드 구성을 위한 절점을 생성할 수 있다.

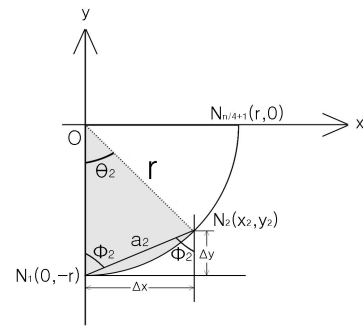


그림 4. 원형 단면 절점생성

테이퍼드 원형 구조물일 경우 식(2)에 테이퍼드 비율 (Tapered ratio)인 TR 을 추가함으로써 절점을 생성할 수 있다. 식(2)를 구성하는 기호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta x_j = a_j \sin \phi_j$$

$$\Delta y_j = a_j \cos \phi_j$$

$$a_j = 2rcos\phi_j$$

$$r = \frac{L}{2\pi}$$

$$\phi_j = \frac{\pi - \theta_j}{2} \quad : i = 1, 2, \dots, (H+1)$$

$$\theta_j = \frac{2\pi}{n}(j-1) \quad : j = 1, 2, \dots, n$$

여기서, Δx 와 Δy 는 각각 x, y 의 증분량을 나타내고, a_j 는 θ_j 를 각으로 갖는 호의 직선길이를 뜻한다. 그리고 r 과 L, n, H 는 각각 위에서 언급했듯이 원형 평면의 반지름, 평면의 둘레, 한 층당 절점 수, 구조물의 층수를 의미한다. 또, ϕ_j 는 두변의 길이가 r 이고 두변사이의 끼임 각이 θ_j 인 이등변삼각형의 각을 의미하며, θ_j 는 원형 평면에서 절점생성을 위해 사용되는 각도이다. i 는 i 번째 층의 바닥 평면을 의미하며 $1 \leq i \leq (H+1)$ 범위에 존재한다. j 는 i 번째 층의 바닥 평면에 위치하는 절점번호로써 $1 \leq j \leq n$ 의 범위를 가지며 j 번째 절점은 N_j 로 표현한다.

2.3 다이아그리드의 부재연결

생성된 좌표를 이용하여 다이아그리드의 부재를 연결한다. δ_X 와 δ_Y 에 따라 부재가 연결되는 절점이 달라지고, 다이아그리드의 각도 또한 바뀌게 된다. 이상적인 다이아그리드의

각도를 찾기 위해서는 δ_X 와 δ_Y 의 변화에 영향을 받는 부재 연결에 대해서 반복적인 수행이 있어야한다. 구조물에 적합한 다이아그리드 부재의 연결을 위한 δ_X , δ_Y 에 대한 정보로부터 다이아그리드의 모양은 변한다.

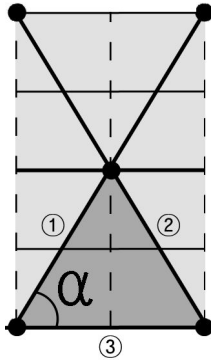


그림 5. 다이아그리드의 부재연결

그림 5를 살펴보면, 다이아그리드를 구성하는 부재는 크게 오른쪽 대각방향 부재(①번 부재)와 왼쪽 대각방향 부재(②번 부재), 그리고 가로부재(③번 부재)로 나눌 수 있다.

다이아그리드 부재는 δ_Y 에 따라 크기는 몇 개 층에 걸쳐서 하나의 삼각형 형태로 연결된다. 여기서 각 층의 슬래브에 다이아그리드 부재를 접합함으로써 보다 구조적으로 안정을 취할 수 있다.

2.4 다이아그리드의 각도

다이아그리드 부재연결 정보 즉, 절점좌표를 이용하여 다이아그리드의 각도를 구한다.

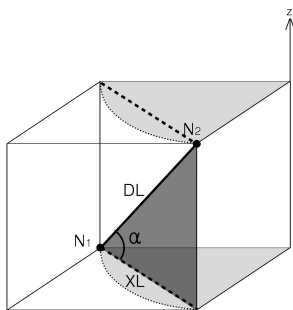


그림 6. 다이아그리드 각도

N_1 과 N_2 는 임의의 다이아그리드 부재를 연결 하고 있는 절점으로써, 피타고라스의 정리를 이용하여 다이아그리드 각도를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} N_1 &= (x_{n_1}, y_{n_1}, z_{n_1}) \\ N_2 &= (x_{n_2}, y_{n_2}, z_{n_2}) \end{aligned} \quad (3)$$

피타고라스의 정리에 의한 두 점 사이의 길이는 식(4)과 같고, 다이아그리드 각도는 식(5)로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} XL &= \sqrt{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2} \\ DL &= \sqrt{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2 + (\bar{z})^2} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } \bar{x} &= x_{n_1} - x_{n_2} \\ \bar{y} &= y_{n_1} - y_{n_2} \\ \bar{z} &= z_{n_1} - z_{n_2} \end{aligned}$$

$$\alpha' = \cos^{-1} \left(\frac{XL}{DL} \right) [rad] \quad (5)$$

여기서, DL 은 N_1 과 N_2 간의 직선거리를 의미하고 XL 은 직선 DL 의 수평투영 길이이다. 그리고 \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} 는 각각 N_1 , N_2 의 x 좌표, y 좌표, z 좌표의 차이를 뜻한다. α' 은 단위가 $[rad]$ 인 다이아그리드 각도로써 $[^\circ]$ 단위로 변환하면 다음 식(6)으로 표현된다.

$$\alpha = \frac{\alpha'}{\pi} \times 180 [^\circ] \quad (6)$$

3. 최적설계 정식화

3.1 다이아그리드의 최적설계 정식화

본 연구에서 원통형 및 테이퍼형 다이아그리드 초고층구조물의 형상최적설계를 위해 식(7)과 같이 컴플라이언스를 목적함수로 선정하여 구조물의 강성을 최대화하도록 하였으며, 최적설계를 위한 설계변수를 다이아그리드 각도(α)를 선정하였다. 또한 구속조건은 형상설계변수인 다이아그리드 각도(α)의 최소, 최대치가 주어지게 된다.

Minimize

$$Compliance = U^T K U$$

Subject to

$$0^\circ < \alpha < 90^\circ \quad (7)$$

Design Variable

$$Diagrid \text{ Angle } (\alpha)$$

여기서 U 는 변위, K 는 강성이고, 컴플라이언스는 유연도 계수로써 유연성을 나타내는 척도이다.

3.2 최적설계 알고리즘 구성

다이아그리드 초고층구조물의 형상최적설계 알고리즘은 Opti_Diagrid(Optimal Design for Diagrid Structural System) 프로그램으로 구현하였으며, 최적설계 흐름도는 그림 7과 같다.

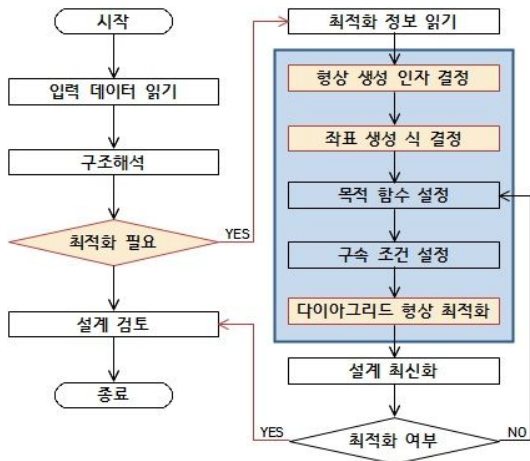


그림 7. 다이아그리드 구조물의 최적설계에 관한 흐름도

또한 각 단계별 진행과정은 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서 제시한 형상생성 정식화를 이용하여 구조물의 기하학적 형상을 생성하고, 지점조건, 적용하중, 부재크기 등 대상구조물에 대한 입력데이터를 생성한다.
- 2) Opti_Diagrid를 실행하여 미리 작성된 입력데이터에서 구조물의 입력자료 및 최적설계에 필요한 관련정보들을 읽는다.
- 3) 주어진 초기 형상에 대한 구조해석을 수행하고, 형상 생성인자를 결정한다.
- 4) 최적화를 위한 설계변수의 조합 및 최적설계방법을 선택한다.
- 5) 목적함수를 계산하고 구조해석결과를 이용하여 구속조건들을 지정한다.
- 6) 최적화 Tool을 이용하여 최적설계를 수행한다.
- 7) 각 단계의 최적설계 결과를 이용하여 구조물의 형태변화에 대한 데이터를 자동 생성하여 업데이트한다.
- 8) 최적설계결과에 따른 구조해석을 수행하고 수렴조건에 만족하지 않으면 5)단계로 돌아가 수렴조건에 만족할 때 까지 이러한 과정을 반복한다.

9) 수렴조건에 만족하면 최적설계결과를 Output Data File로 생성한다.

4. 다이아그리드 최적설계 예제

4.1 검증예제

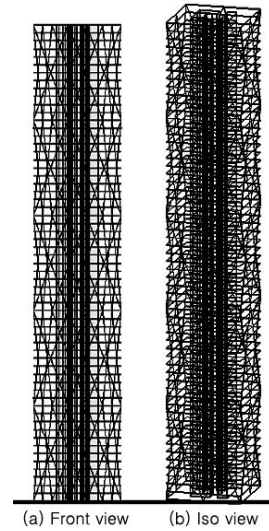


그림 8. 검증예제 형태

본 연구에서 최적설계 알고리즘을 예제에 적용하기 앞서 기존연구(Moon 등, 2007)와의 비교를 통해 그 타당성을 규명하고자 한다.

표 1. 검증예제 기본 개요

	기존연구 (Moon 등, 2007)	검증예제
높이	240m	180m
층수	60층	60층
너비	36m(정사각평면)	30m(정사각평면)
코어면적	바닥면적의 25%	바닥면적의 21.78%
층고	4m	3m
변위한계치	$\frac{H}{500} = 48cm \geq \Delta_H$	$\frac{H}{500} = 36cm \geq \Delta_H$

표 2. 검증예제 부재 설정

	다이아그리드 부재	가로 부재
Material	SS400	SS400
Section	P 609.6 × 22	H 350 × 357 × 19 × 19

기존연구(Moon 등, 2007)와 동일한 조건에서의 최적설계 뿐만 아니라, 조건에 변화를 준 검증예제에서도 기존연구

(Moon 등, 2007)에서 제시한 65° 또는 75° 사이에서 최상층의 변위가 최소가 되는 다이아그리드 각도를 도출하였다. 설계 조건이 다르더라도 최적의 다이아그리드 각도는 일정 범위 내에 있으며, 그 결과는 다음 표 3과 같다.

표 3. 검증예제 해석 결과

	다이아그리드 최적 각도	최상층 변위
기존연구 결과	69°	44cm
기존연구 재해석	69.44°	47.16cm
검증예제	67.38°	35.21cm

제약조건을 만족하는 범위에서 가장 작은 변위 값을 67.38° 에서 가짐에 따라 기존연구(Moon 등, 2007) 결과와 비교했을 때 긍정적인 결과로 볼 수 있다.

4.2 적용예제

본 연구에서는 정형 구조물뿐만 아니라 테이퍼형 초고층 구조물에서 횡하중을 효율적으로 지지할 수 있는 최적의 다이아그리드의 각을 찾기 위해 60층의 원형 단면을 갖는 기본 원통형과 테이퍼드 원형 다이아그리드 구조물에 대해 형상최적설계기법을 적용하였다.

표 4. 적용예제 기본 개요

	적용예제 1	적용예제 2	
높이	180m	180m	
층수	60층	60층	
지름	30m (원형평면)	30m (원형평면)	
층별 TR	0	1%	
코어면적	바닥면적의 15%	최하층	바닥면적의 15%
		최상층	바닥면적의 37%
층고	3m	3m	
변위한계치	$36cm \geq \Delta_H$	$36cm \geq \Delta_H$	

2가지 경우 모두 검증예제와 같이 동일한 부재 조건으로 설계되었고, 코어는 검증예제와 구성은 동일하나 면적은 적용예제에 맞게 산정하였으며 그 정보는 위의 표 2와 같다. 표 4는 적용예제에 대한 기본적인 정보이다.

최하층 지점은 x, y, z 방향 모두 구속하였으며, 하중은 횡방향(x 축의 방향)으로 풍하중을 30 m/s 주었다. 최상층의 변위 한계치는 $\frac{H \times HL}{500} = 36cm \geq \Delta_H$ 이고, 각 2가지 구조물의 입면 형태는 그림 9와 같다.

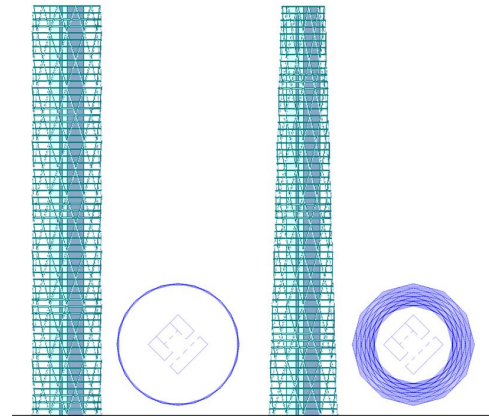


그림 9. 구조물의 Front view와 Top view

4.2.1 적용예제 1

적용예제 1은 입면형태가 그림 9(a)에 해당하는 원통형의 60층 구조물로 원의 지름 30m, 층당 절점 수는 48개이다. 최적의 다이아그리드 각도를 구하기 위해 대각부재가 연결되는 층수의 변화를 주어 37.46°, 56.87°, 66.49°, 71.93°, 75.37°, 79.93°, 82.56° 가 되도록 설계하였다.

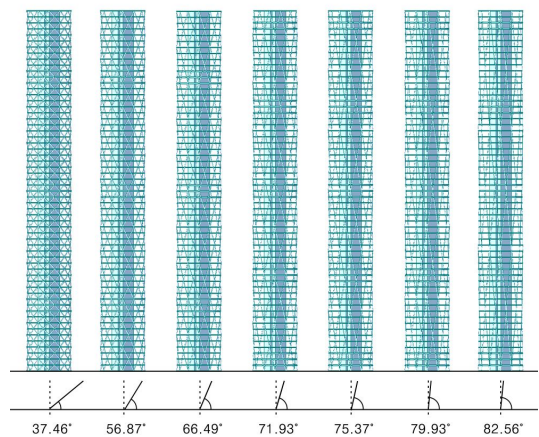


그림 10. 원통형 구조물의 다양한 다이아그리드 각도

이렇게 생성된 각각의 각도에서 최상층의 변위 값의 변화는 다음 표 5와 같다.

표 5. 원통형 구조물의 다이아그리드 해석 결과

다이아그리드 각도 [°]	최상층 횡변위 [cm]
37.46	58.96
56.87	37.16
66.49	32.68
71.93	32.00
75.37	32.63
79.93	33.79
82.56	39.78

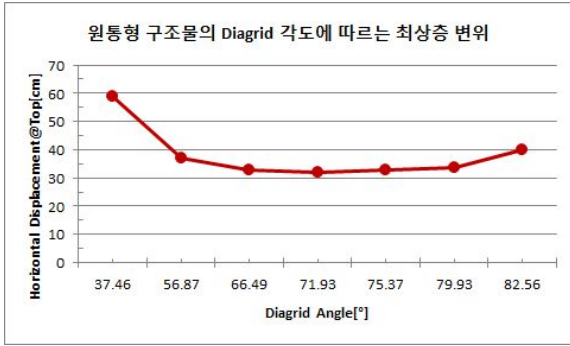


그림 11. 원통형 구조물의 각도-변위 곡선

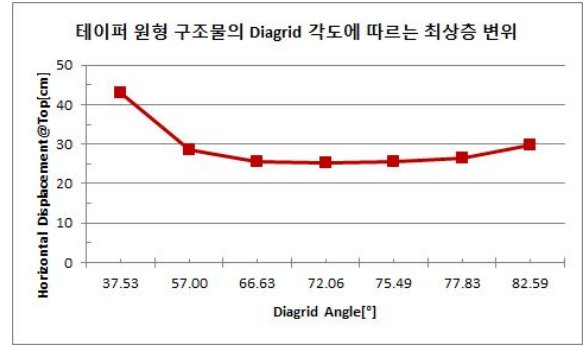


그림 13. 테이퍼드 원형 구조물의 각도-변위 곡선

표 5와 그림 11에서 알 수 있듯이 원통형 구조물에서 다이아그리드 각도 71.93°가 가장 이상적인 것을 알 수 있다.

표 6과 그림 13에서 알 수 있듯이 테이퍼드 원형 구조물에서 최적의 다이아그리드 각도는 72.06°이다. 적용예제 1의 기본 원통형 구조물과 비교했을 시 전체적인 최상층의 변위 값은 적었으며, 다이아그리드 각도는 71.93°보다 조금 더 큰 72.06°가 최적임을 알 수 있다. 횡변위를 제어함에 있어 원통형의 구조물보다 테이퍼드 원형 구조물이 더 효과적이라는 결과를 도출하였다.

4.2.2 적용예제 2

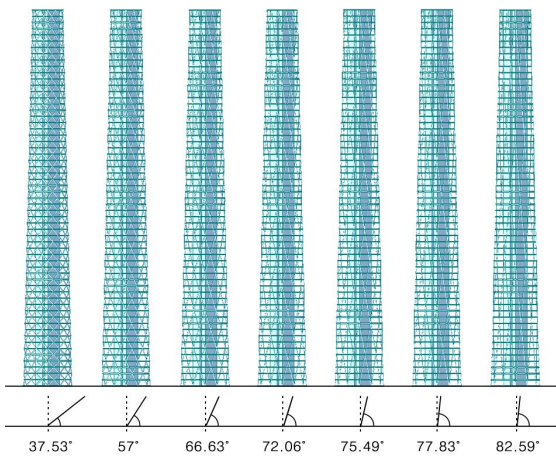


그림 12. 테이퍼드 원형 구조물의 다양한 다이아그리드 각도

적용예제 2는 적용예제 1과 같이 원통형의 60층 구조물이지만 그림 9(b)의 입면형태와 같이 층수가 올라갈수록 원형 단면의 둘레가 작아지는 테이퍼드 형태이다. 이때 전체 TR은 0.01(1%)이고, 구조물의 입면형상은 사다리꼴 모양이 된다.

적용예제 2의 다이아그리드 각도 변화 또한 대각부재가 연결되는 층수를 다르게 하여 표 6과 같은 다이아그리드 각도를 적용하였다. 같은 원형단면을 가지고 있지만 고층으로 갈수록 평면이 감소하기 때문에 적용예제 1에서 적용된 다이아그리드 각도와는 다소 차이가 생기게 된다.

5. 결론

기존의 다이아그리드 초고층 구조물의 최적설계는 정사각형 단면을 가지는 정형 초고층 구조물에 대한 것이기 때문에 비정형 형태에 대한 다이아그리드 최적각도를 찾는 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 초고층 구조물의 형태에 있어서 기존의 단순한 입방체의 형태를 벗어나 비정형 형태를 갖추고 있는 추세에서, 비정형 초고층 구조물의 효율적인 횡방향 제어 시스템인 다이아그리드의 최적 각도를 찾는 것에 주안점이 있다.

먼저, 본 연구에서는 비정형 초고층 구조물에 대한 최적의 다이아그리드 각도를 찾기 위해 검증예제를 통해 알고리즘의 타당성을 규명하였다. 그리고 적용 예제에서 다이아그리드의 새로운 최적 각도를 제시하였다. 적용 예제를 선택함에 있어 원형 단면을 가지는 원통형 60층 초고층 구조물과 같은 원형 단면을 가지고 있지만 고층으로 갈수록 평면이 감소하는 테이퍼드 원형 60층 초고층 구조물에 대해 각각 최적설계를 하였다.

먼저, 각층에 풍하중 30m/s를 주어 원통형 구조물에 대한 다이아그리드를 해석한 결과 최상층 변위 32cm인 71.93°가 가장 최적의 다이아그리드 각도로 나타났다. 또한 고층으로 갈수록 평면이 감소하는 테이퍼드 원형 구조물에도 각층에 풍하중 30m/s를 주어 최적설계를 통한 다이아그리드 해석 결과는 이 구조물에선 최상층의 변위가 25.11cm인 72.06°가 최적의 다이아그리드 각도이다. 기존의 정사각형단면을 가진 초고층 구조물의 일반적인 최적의 다이아그리드 각도가 65° 혹은 75° (Moon 등, 2007)에서 최적인 것과 비교해

표 6. 테이퍼드 원형 구조물의 다이아그리드 해석 결과

다이아그리드 각도 [°]	최상층 횡변위 [cm]
37.53	42.99
57.00	28.44
66.63	25.53
72.06	25.11
75.49	25.57
77.83	26.31
82.59	29.80

보았을 때, 원형 구조물의 다이아그리드 최적 각도 역시 그 범위 안에 존재함을 확인 할 수 있었다. 뿐만 아니라 사각형 구조물의 다이아그리드 최적각도보다 원형 구조물의 다이아그리드 최적각도가 더 큰 값을 가짐을 확인할 수 있었다. 또한 같은 원형단면을 가진 초고층 구조물이라 하더라도 모든 층이 같은 평면을 가진 원형 구조물의 다이아그리드 최적 각보다 고층으로 갈수록 평면이 감소하는 테이퍼드 원형 구조물의 최적 각이 더 크다는 것을 알 수 있으며, 고층으로 올라갈수록 평면이 감소하게 되면 풍하중의 영향을 더 적게 받기 때문에 최상층의 변위의 크기도 적게 된다. 적용예제 1과 적용예제 2의 비교로부터 횡변위를 제어하기 위해서는 원통형 구조물보다 테이퍼드 원형 구조물이 더 효과적임을 확인하였다.

최적설계 프로그램을 실행하게 되면 최적의 다이아그리드 각도를 찾기 위해 초고층 구조물의 기본적인 정보인 층수와 지름만을 가지고도 초고층 구조물의 형상이 어떠한 형태가 되든지 최적의 다이아그리드 각도를 찾을 수 있다. 향후 건물의 외피 형상에 따라 부재가 받는 풍하중의 영향이 다른 것을 확인함으로써 테이퍼드 형태뿐만이 아닌 비틀어진 형태에 대해서도 최적의 다이아그리드 각도를 찾는 것이 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2010년도 초고층복합빌딩연구개발사업의 연구

지원(과제 번호 41427-1)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

배재훈, 주영규, 김영주, 김상대(2010) 초고층 다이아그리드 구조의 실험적 내진성능계수 평가, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제22권, 제1호, pp.75-76.

유기표(2006) 풍하중을 받는 입면상 테이퍼 고층건물의 변동 풍압 특성, 대한건축학회논문집, 대한건축학회, 제22권, 제5호, pp.3-12.

이수곤(2008) 비정형 초고층 프로젝트를 위한 구조설계 기술, 대한건축학회지, 대한건축학회, 제52권, 제4호, pp.55-58.

주영규, 김경환(2008) Diagrid 구조 시스템의 최근 동향, 대한건축학회지, 대한건축학회, 제52권, 제4호, pp. 72-76.

한상을, 이한주, 유종혜, 정소영(2010) 파라메트릭 기법과 민감도 해석을 이용한 형상최적설계에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 대한건축학회, 제30권, 제1호, pp.15-16.

Moon, K.S., Jerome, J.C., and John, E.F. (2007) Diagrid structural systems for tall buildings: characteristics and methodology for preliminary design, *2007 The Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 16, pp.205-230.

(접수일자 : 2010. 12. 15 / 심사일 2010. 12. 21 / 심사완료일 2011. 6. 14)