다양한 형상을 가진 초고층 건물의 내풍특성

Aerodynamic Characteristics of Tall Buildings with Unconventional Configurations

김 용 철* 田村 幸雄**

*동경공예대학교 풍공학연구센터 GCOE 연구원
**동경공예대학교 건축학과 교수

1. 서론

2012년 현재까지 완공된 초고층 건물 중에서 세계에서 가장 높은 건물은 2010년에 완공된 Burj Khalifa(828m)로, 그 전까지 제일의 초고층 건물이었던 Taipei 101(508m)보다 무려 300m나 높게 완공되어 세계 제일의 초고층 건물이라는 명예를 얻었다. 또 1000m가 넘는 Kakheel Tower(>1000m)는 현재 건설 중이고, 2020년에는 Kingdom Tower(>1000m)가 완공될 예정이어서, Burj Khalifa는 약 10년에서 20년후에는 세계 제일의 초고층 건물이라는 명예를 두 초고층 건물에 넘겨줘야 될 것으로 보인다. 상위 100위까지의 초고층 건물의 약 56%가 2000년 이후에 완공된 것으로 높은 곳을 향한 인간의 갈망과 도전은 당분간 이어질 것으로 보인다.

이러한 초고층 프로젝트에 있어서 최근 유행하고 있는 하나의 특징은 기존의 정형화된 박스 형상으로부터 벗어나 테이퍼, 셋백, 헬리칼 형상 등 건물 외적인 형상이 점점 다양화되고 있다는 점이다. 초고층 건물은 구조재료, 해석기술 및 진동제어 기술 등의 진보의 의한 단순한 부산물이 아니라, 해당 커뮤니티의 상징적인 혹은 랜드마크적인 역할과 더불어 사회, 경제 문화적으로도 상당한 의미를 갖고 있다. 본 기사에서는 최근 진행중인 다양한 형상을 가진 초고층 건물의 내풍특성에 대한 연구결과[1)-3)]를 종합하고 정리해 보고자 한다.

2. 풍동실험

풍동실험에 사용된 초고층 건물모형을 표 1에 정리하였다. 높이 400m(80층), 층 면적 2500m^{2}인 초고층 건물(형상비 8)을 대상으로 하였고, Opening 모델을 제외한 모든 초고층 건물의 구조적인 특성은 같다고 가정하였다.

(a) Basic - 기본형상으로 Square, Circular, 변장비가 1:2인 Rectangular와 Ellipse모형

(b) Corner modification - 코너부 형상을 수정한 Corner chamfered(0.1B)와 Corner cut(0.1B)모형

(c) Tilted - 최상부가 2B만큼 이동한 Tilted와 1H/4와 3H/4에서 0.5B만큼 이동한 Shaking모형

(d) Tapered - 2방향의 2-Tapered, 4방향의 4-Tapered, 3단의 셋백을 가진 Setback, 4-Tapered 상하가 바뀐 Inversely 4-Tapered, 중앙부의 단면적이 30% 큰 Bulged모형

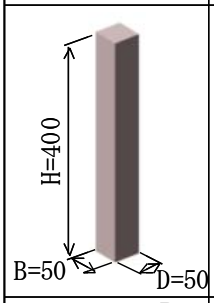
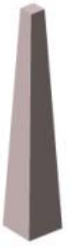
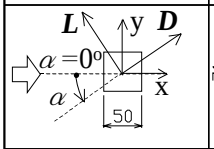
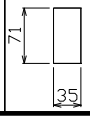
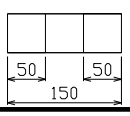
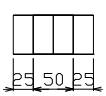
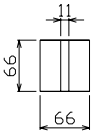
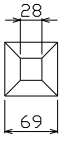
(e) Helical - 밑면부터 최상부까지 다양한 헬리칼 각도(90°, 180°, 270°, 360°)를 가진 Helical Square모형과 180°헬리칼 각도의 Helical Rectangular와 Helical Ellipse모형

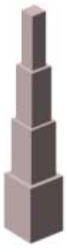
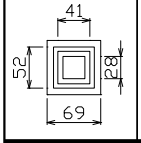
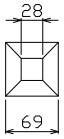
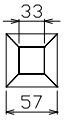
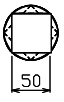
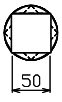
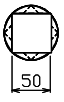
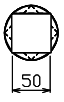
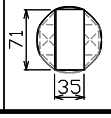
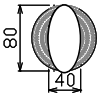
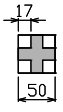
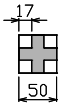
(f) Void - 건물 중앙에 opening이 있는 Cross Void와 코너부에 opening이 있는 Oblique Void모형

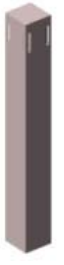
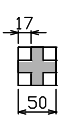
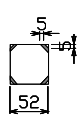
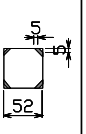
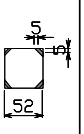
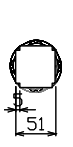
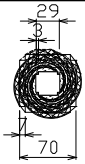
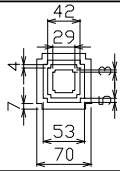
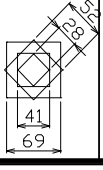
(g) Composite - (a)에서 (f)까지의 각 요소를 복합한 복합모형

실험에 사용된 기류는 도시부를 재현한 고도분포지수 α

표 1 풍동실험 모형

Basic				Corner modification		Tilted		Tapered	
Square	Rectangle	Circle	Ellipse	Chamfered	Corner cut	Tilted	Snaking	2-Tapered	4-Tapered
									
									

Tapered			Helical						Void	
Setback	Inverse 4-Tapered	Drum	90°Helical Square	180°Helical Square	270°Helical Square	360°Helical Square	180°Helical Rectangle	180°Helical Ellipse	Cross void l/H=2/24	Cross void l/H=5/24
										
										

Void					Combination					
Cross void l/H=11/24	Oblique void l/H=2/24	Oblique void l/H=5/24	Oblique void l/H=11/24	3-Circle	Corner cut & 360°Helical	Corner cut & 4-Tapered &360°Helical	Setback & Corner cut	Setback & 135°Helical	Cross-section change &180°Helical	
										
										

가 0.27인 기류로 건물 최상부에서의 실험풍속은 약 7m/s이고, 난류강도는 약 11%이다. 모형의 축척률이 1/1000이고, 시간의 축척률이 1/100이므로 실험풍속은 건물 최상부에서 실풍속 약 70m/s에 해당한다. 6분력계를 이용하여 모형 밑면에 작용하는 변동풍력을 풍향각 5°간격으로 계측하였다. 각 방향의 변동풍력은 건물 최상부에서의 속도압 q_H, Square모형의 폭 B, 그리고 높이 H를 이용하여 무차원화하였다.

3. 해석결과

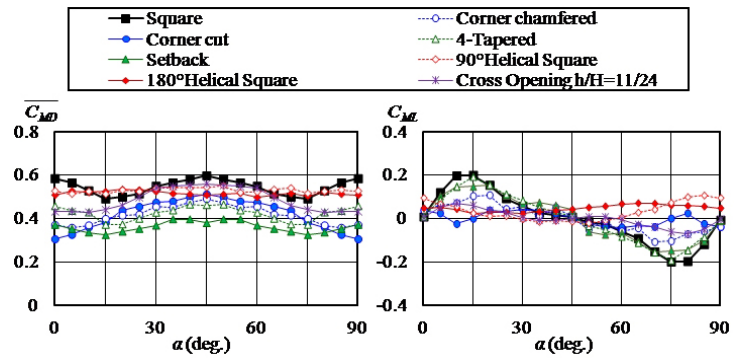
3.1 풍향각에 따른 전도모멘트계수

그림 1에 평균전도모멘트의 풍향각에 따른 변화를 나타내었다. 모든 모형의 풍방향 평균전도모멘트계수 C_{MD}는 풍직각방향 평균전도모멘트계수 C_{ML}보다 컸고, 그 중에서 Square모형의 C_{MD}가 0.6(풍향각 45°)으로 제일 컸다. 4-Tapered와 Setback모형의 최대 풍방향 평균전도모멘트계수는 다른 모형보다 비교적 작았고, 최대 풍직각방향 평균전도모멘트계수의 경우, 코너부 형상을 변화시킨 Corner chamfered와 Corner cut모형이 작은 값을 보였다. 특히 Corner cut모형의 경우, Square모형의 약 1/5이였다.

그림 2에 풍향별 변동전도모멘트계수의 변화를 나타내었다. Square와 Corner cut모형의 경우, 풍직각방향 성분 C_{ML}'이 풍방향 성분 C_{MD}'보다 컸지만, 다른 모형에 있어서는 C_{ML}'이 더 큰 값을 보였다. 최대 변동전도모멘트계수는 Square모형에서 풍향각이 0° (90°) 일 때 0.142였다. Setback모형의 최대 변동전도모멘트계수는 0.082로 Square모형의 약 60%의 값을 보였다. 90° Helical Square와 180° Helical Square모형의 평균 및 변동전도모멘트계수는 풍향각에 따른 값의 변화가 작았고, 특히 180° Helical Square모형은 모든 경우에 있어서 거의 일정한 값을 보였다.

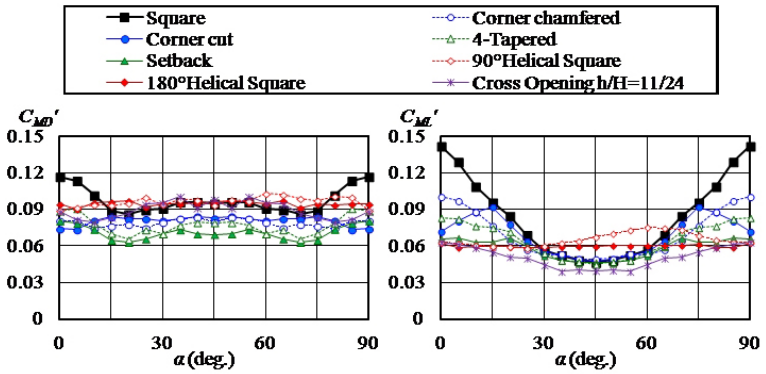
3.2 풍직각방향의 파워스펙트럼밀도

그림 3에 평균 및 변동전도모멘트계수가 작은 모형에 대한 파워스펙트럼밀도를 나타내었다. Square모형의 경우, 무차원진동수 0.1 부근에 매우 선명한 피크가 있지만, 이 피



(a) 풍방향 평균전도모멘트계수 (b) 풍직각방향 평균전도모멘트계수

그림 1 풍향별 평균전도모멘트계수 변화

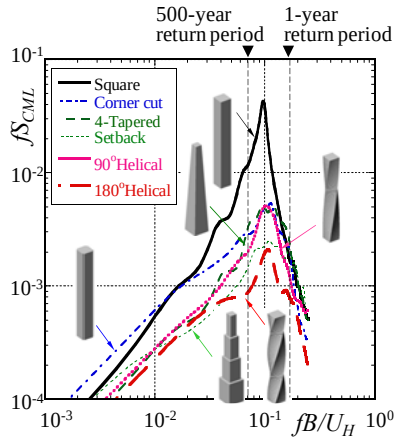


(a) 풍방향 변동전도모멘트계수 (b) 풍직각방향 변동전도모멘트계수

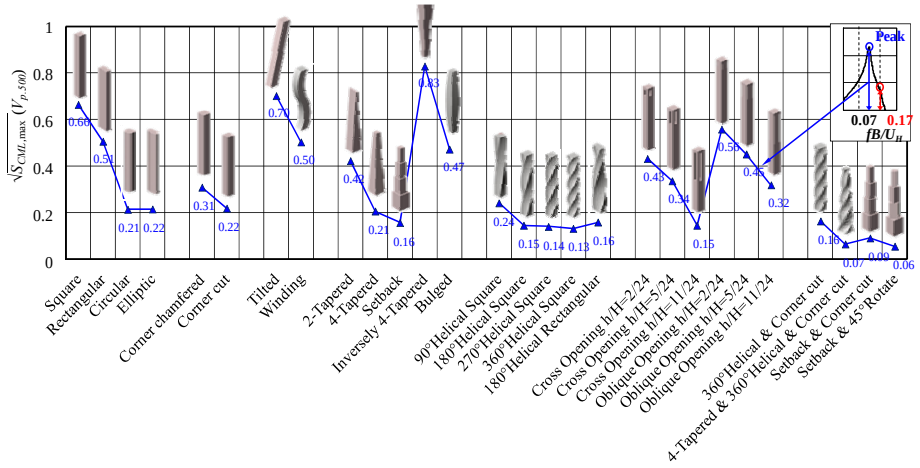
그림 2 풍향별 변동전도모멘트계수 변화

크는 형상변화에 의해 크게 작아짐을 알 수 있다. 이점으로부터 측면에서 발생하는 주기적인 와방출이 형상변화로 인해 효과적으로 제어되었다는 것을 알 수 있다.

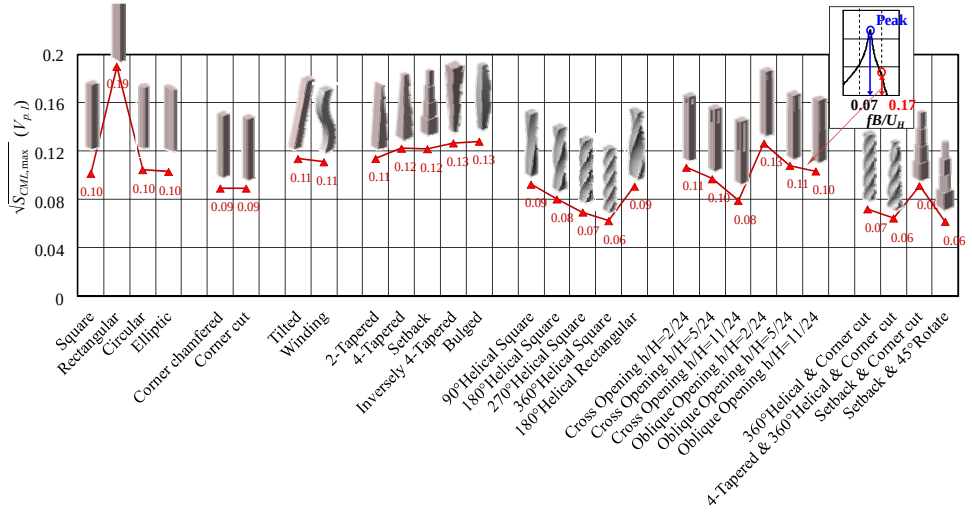
그림 3(b), (c)에 500년 및 1년 재현주기 풍속에 대한 파워스펙트럼값의 평방근을 나타내었다. 재현주기 500년 풍속에 대한 파워스펙트럼밀도의 최대값은 180° Helical Square



(a) 파워스펙트럼밀도



(b) 재현주기 500년 풍속에 대한 스펙트럼값



(c) 재현주기 1년 풍속에 대한 스펙트럼값

그림 3 풍직각방향의 파워스펙트럼밀도 및 재현주기에 따른 스펙트럼 값

모형이 제일 작았고 Square모형의 약 1/5정도이다. 마찬가지로 재현주기 1년 풍속에 대한 파워스펙트럼밀도의 최대값은 180° Helical Square모형이 제일 작았으며 Square모형의 약 절반 정도로, 180° Helical Square모형은 안전성 및 사용성에 있어서 우수한 내풍성능을 보였다. 한편, Setback 모형의 경우, 500년 재현주기 풍속에 대한 파워스펙트럼밀도의 최대값은 180° Helical Square모형과 비슷했지만, 1년 재현주기 풍속에 대한 파워스펙트럼밀도의 최대값은 Square모형보다 오히려 커서 Setback형상을 이용할 경우 사용성에 대한 특별한 주의가 필요함을 알 수 있었다. 일반적으로 Composite모형의 경우, Square모형보다 안전성 및 사용성 설계에 있어서 비교적 유리한 내풍특성을 가지고 있음을 알 수 있었다.

4. 맺음말

다양한 형상을 가진 초고층 건물의 풍동실험으로부터 각각의 형상이 초고층 건물의 내풍성능에 어떠한 영향을 주는지 알 수 있었다. 풍방향 평균전도모멘트의 경우 4-Tapered와 Setback모형의 값이 작았고, Corner cut과 Helical모형의 풍직각방향의 평균전도모멘트가 작음을 알 수 있었다. 변동전도모멘트의 경우, Corner cut, 4-Tapered와 Setback모형이 풍방향과 풍직각방향 모두에서 좋은 내풍성능을 보였지만, Helical모형의 경우, 풍직각방향에서만 우수한 내풍성능을 보였다. 풍직각방향의 파워스펙트럼밀도로부터 형상변화로 인해 측면에서 발생하는 주기적인 와방출이 효과적으로 제어되었음을 알 수 있었지만, 4-Tapered와 Setback형상이 사용될 경우 사용성에 대한 특별한 주의와 검토가 필요함을 알 수 있었다. 풍직각방향에 있어서 Helical모형의 내풍성능은 Corner cut모형의 내풍성능과 매우 비슷하였고, 일반적으로 Composite모형의 내풍성능은 Square보다 더 우수함을 알 수 있었다.

5. 감사의 글

본 기사의 작성 시 田中 英之(Hideyuki Tanaka), 大竹 和夫(Kazuo Ohtake), 中井 正義(Masayoshi Nakai) (이상, (株)竹中工務店(Takenaka Corporation))씨를 비롯한 많은 분들의 도움을 받았습니다. 여기에 짧게 감사의 뜻을 표합니다. 또, 본 기사는 일본 문부과학성 글로벌 COE프로그램(Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan, The Global Center of Excellence Program, New Frontier of Education and Research in Wind Engineering, 2008~2012)의 지원을 받았습니다.

참 고 문 헌

1. Yukio Tamura, Hideyuki Tanaka, Kazuo Ohtake, Masayoshi Nakai, Yongchul Kim, 2010, Aerodynamic characteristics of tall building models with various unconventional configurations, 2010 Structures Congress
2. Hideyuki Tanaka, Yukio Tamura, Kazuo Ohtake, Masayoshi Nakai, Yong Chul Kim, 2011, Aerodynamic characteristics of tall building models with various unconventional configurations, 13th International Conferenceon Wind Engineering.
3. Y. Tamura, Y.C. Kim, H. Tanaka, K. Ohtake, M. Nakai, 2011, Aerodynamic Characteristics of Tall Buildings with Various unconventional configurations, CTBUH2011 World Conference.