

대스팬 지붕구조물의 등가정적 풍하중 산정에 관한 연구

A study on the equivalent static wind load estimation of large span roofs

김대영* 김지영** 김한영*** 이명호**** 김상대*****
Kim, Dae-Young Kim, Ji-Young Kim, Han-Young Lee, Myung-Ho Kim, Sang-Dae

Abstract

This paper discuss the conditionally sampled actual wind pressure distributions causing peak quasi-static wind loads in the large span roofs using the wind pressures at many locations on dome models measured simultaneously in a wind tunnel. The actual extreme pressure distributions are compared with load-response-correlation (LRC) method and the quasi-steady pressure distributions. Based on the results, the reason for the discrepancy in the LRC pressure distribution and the actual extreme pressure distribution are discussed. Futhermore, a brief discussion is made of the equivalent static wind load estimation for the large span roofs.

Keywords : Load effect, Large-span structure, Dynamic response, Wind tunnel test, Influence coefficient

1. 서 론

자연풍은 시간적, 공간적으로 끊임없이 변동하고 있으므로 구조물에 가해지는 풍력의 평가는 이러한 사실을 반드시 고려해야한다. 특히 대스팬 지붕구조물의 경우는 구조물 자체가 공간적으로 큰 규모를 가지고 있고, 구조물의 경량화 및 이에 따른 풍진동 등의 영향이 커지게 되므로 규모효과 및 공진효과를 고려하여 설계해야 한다.

국내 풍하중 기준에서는 구조물의 1차 진동모드가 탁월하며, 평균변위가 1차 진동모드 형태와 근사하다는 전제하에 정형화된 지붕구조물의 풍하중을 산정할 수 있도록 규정하고 있다.(대한건축학회, 2001)

또한 국내의 경우 풍동실험을 통해서 풍하중을

산정하는 일반적인 과정이 구조물의 설계대상이 되는 하중효과나 구조물의 동적특성을 충분히 반영할 수 없는 경우가 많다.

따라서 본 논문에서는 현재 대스팬 지붕구조물의 가장 합리적인 풍하중 산정법으로 제안되고 있는 Gust Factor법(이하 GF법), Load Response Correlation법(이하 LRC법)법과 최대하중효과를 나타내는 순간적인 등가의 정적하중값을 구할 수 있는 Modified Conditional Sampling법(이하 MCS 법)에 대한 기술적인 고찰과 실프로젝트인 광명동 경기장(RWDI, 2004, 대우건설기술연구소, 2002)의 지붕구조물에 대하여 각 풍하중산정법에 의한 풍하중을 산출하여 비교 분석하므로써 각 산정법의 문제점 및 개선방안을 제시하고자 한다.

* 정회원, 대우건설기술연구소 책임연구원
** 정회원, 대우건설기술연구소 선임연구원
*** 정회원, 대우건설기술연구소 선임연구원
**** 정회원, 대우건설기술연구소 전임연구원
***** 정회원, 고려대학교 건축공학과 교수

2. 풍동실험

2.1 풍동실험조건

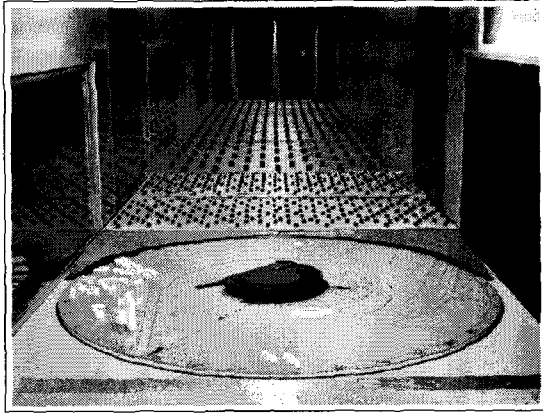


그림 1 풍동실험사진

표1. 풍동실험 조건

축척	1/400
재현범위	457.2 m
측정점수	555점(지붕: 183점, 기타: 372점)
노풍도	C
측정 주파수	512 Hz
측정시간간격(모델)	0.001953 sec
측정총시간(모델)	24 sec
측정데이터수	12288

2.2 시계열 풍압 DATA 취득 조건

(1) 모형제작

풍압모형의 모든 측정점에서의 풍압을 동시에 측정하여야 하기 때문에 만일 스타디움처럼 일부 개방형의 지붕에서는 상하부의 풍압을 동시에 측정할 수 있도록 모형을 더블스킨으로 제작하여 내압과 외압을 동시에 측정할 수 있도록 하여야 한다.

(2) 풍압측정시스템

모형에 설치된 풍압의 전점 동시측정된 시계열 DATA가 필요하므로 풍압센서의 수는 모형의 풍압측정공 수만큼 있어야 한다.

(3) 튜브 동특성 보정

압력튜브에 의해 변동풍압력을 측정할 경우에는 튜브내의 공기의 공명현상 등으로 인해 압력신호

의 진폭과 위상이 왜곡되므로 튜브의 동특성보정을 반드시 실시하여야 한다.(그림2 참조)

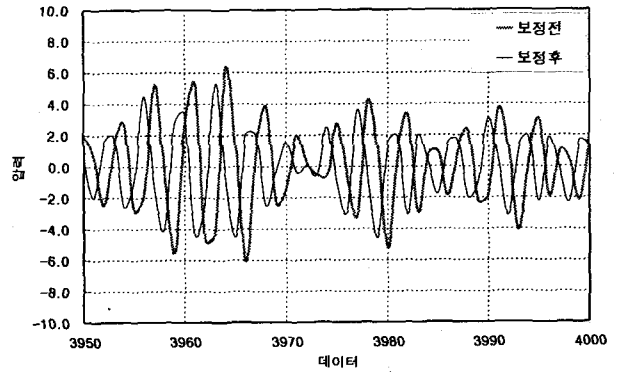


그림 2 튜브 동특성 보정 그래프

3. 풍하중의 구성성분

모든 유형의 구조물에 대해서 풍하중은 그림3과 같이 바람의 평균(Mean)성분, 비공진(Background) 성분과 공진(Resonant)성분의 하중으로 조합될 수 있다.

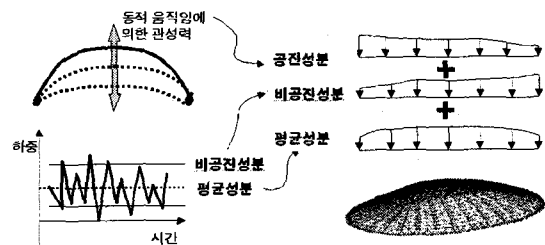


그림 3 풍하중의 구성성분

4. 풍하중 평가법

4.1 Gust Factor법(이하 GF법)

시계열 풍압실험 DATA를 이용해서 구조물의 1차모드에 대한 일반화풍력 DATA를 구하여 모달 스펙트럼법에 따라 Gust Factor를 구하고, 이 값을 평균풍압에 곱하여 등가정적풍하중을 산출한다. GF법의 개념도는 그림4와 같다. 이러한 방법으로 하중을 산출할 경우의 문제점은 ① 최대응답에 상응하는 등가정적풍하중의 분포가 평균풍하중의 분포와 동일한 형상일 경우에만 적용이 가능.

② 고차모드의 영향을 고려할 수 없음. 이다.

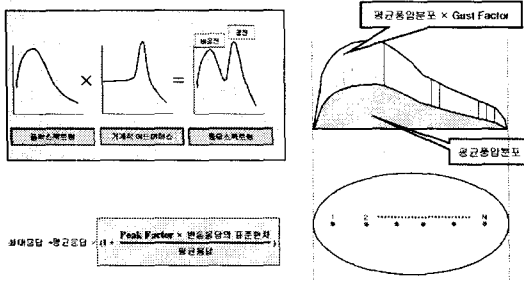


그림 4 Gust Factor법의 개념도

4.2 Load Response Correlation(이하 LRC법)

구조물의 응답(하중효과)과 각 풍압공의 상관계수를 구하여 각 풍압공의 비공진(Background)풍압을 구하고 이를 각 풍압공의 평균(Mean)풍압과 조합하여 전체 풍하중을 산정한다. LRC법의 개념도는 그림5와 같다. LRC법으로 풍하중산정시의 문제점은 구조물의 동적효과를 고려할 수 없다는 것이다.

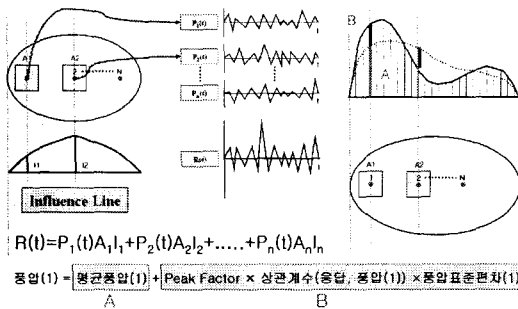


그림 5 LRC법의 개념도

4.3 Modified Conditional Sampling법 (이하 MCS법)

본 논문에서 제안하는 방법으로서 시계열 풍동 실험DATA를 변동하중으로 입력하여 구조물의 시간이력해석을 해서 설계대상으로 하는 하중효과의 응답이 최대가 되는 순간의 풍하중 분포를 선택한 후 정적해석을 수행하여 응답을 구하고, 시간이력 해석에서 구한 응답과의 비를 계수값으로 하여 앞

서 구한 순간적 풍하중분포에 곱함으로써 등가정적풍하중을 구하였다. 또한, 등가정적 풍하중을 적용한 정적해석의 결과와 시간이력 해석결과를 비교하여 하중효과(중앙점 변위)가 동일한 것을 확인하였다.

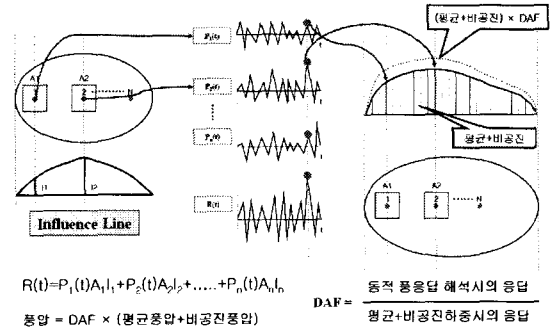


그림 6 MCS법의 개념도

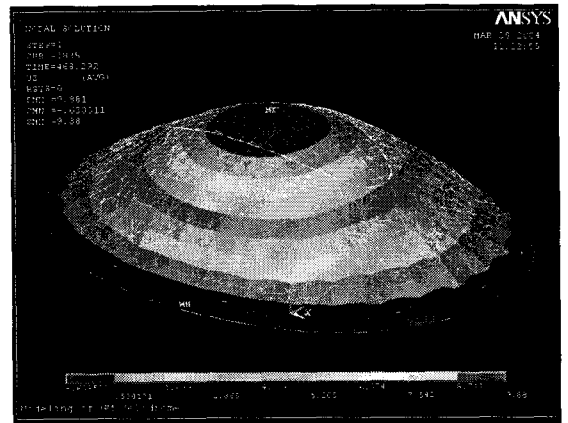


그림 7 등가정적 풍하중에 의한 해석결과(MCS법)

5. 풍하중 평가법 검토

기존의 국내외에서 현재 적용 또는 연구되고 있는 풍하중 산정법에 대한 검토내용을 표2에 요약 하였다.

6. 결과분석

6.1 하중패턴을 고려한 풍향결정

풍동실험에서 얻어진 전 풍향에 대한 시계열 DATA를 이용해서 구조물의 거동을 고려한 전체 상향풍하중이 최대가 되는 풍향을 구조물의 영향계수를 이용하여 가중적분하므로써 그림9의 A

표 5 풍하중 평가법 검토

검토항목	하중 평가 방법						
	하중기준	전풍향	특정풍향	GF법	DAF법	LRC법	MCS법
주변지형/구조물형상 고려	×	○	○	○	○	○	○
최대하중효과를 주는 풍향고려	×	×	×	○	○	○	○
각 풍압공의 풍압 동시성 고려	△	×	×	○	○	○	○
하중효과 고려한 하중산정	△	×	×	○	○	○	○
하중효과와 하중의 상관성 고려	×	×	×	×	×	○	○
구조물의 공진 고려	△	×	×	○	○	×	○
고차모드 영향 고려	×	×	×	×	○	×	○
하중의 비정상성 고려	×	×	×	×	×	×	○

- 하중기준: 풍하중 해설 및 설계, 대한건축학회
- 전풍향: 전풍향에 대해 최대풍압값 사용
- 특정풍향: 특정풍향에 대한 최대풍압값 사용

- GF법: Gust Factor법
- DAF법: Dynamic Amplification Factor법
- LRC법: Load Response Correlation법
- MCS법: Modified Conditional Sampling법

점과 같이 풍향이 290° 일 때를 구하였다.



그림 8 하중패턴(대칭모드)

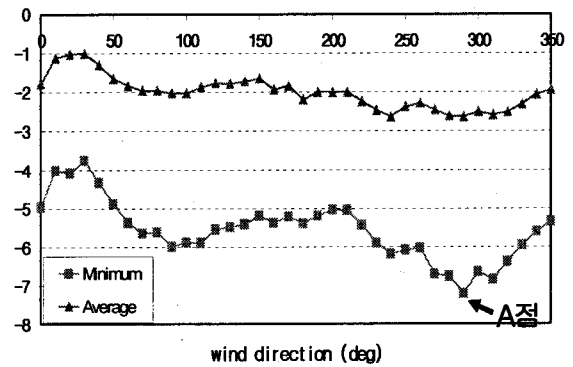


그림 9 각 풍향별 가중적분 결과

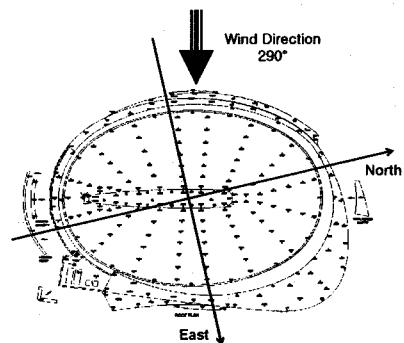


그림 10 해석대상 풍향(290°)

6.2 GF법과 MCS법의 비교

GF법은 최대응답에 상응하는 등가정적하중의 분포가 평균풍하중의 분포와 같은 형태를 가질 경우 적용이 가능하다. 그러나 그림 11, 12에서 MCS법으로 구한 평균풍하중과 평균풍하중과 비공진 풍하중의 조합인 전체 풍하중의 모양은 단순히 Gust Factor를 적용하여 구할 수 있을 정도로 같은 모양을 가지고 있지 않음을 알 수 있다. 따라서 GF법은 공기역학적으로 준정적 가정이 유효한 작은 구조물이나, 쉐일레버 구조물에서는 정확한 결과값을 줄 수 있기 때문에 많은 기준에서 채택되고 있지만 아무래도 대스팬 구조물에 적용은 문제가 있다고 할 수 있다.

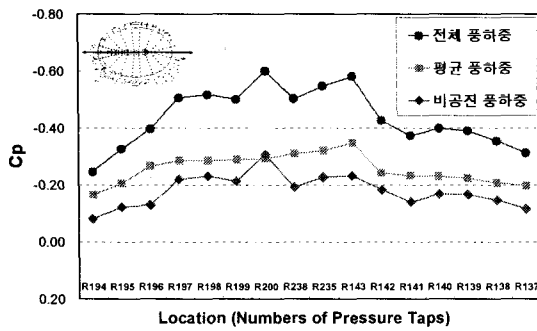


그림 11 MCS법에 의한 하중조합(X방향)

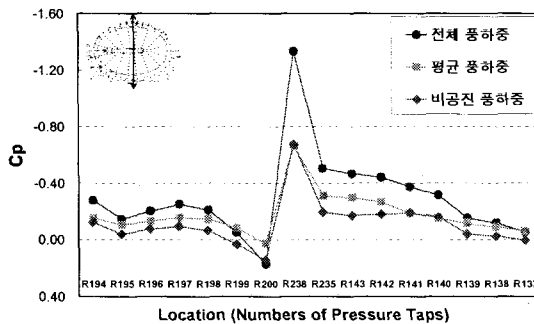


그림 12 MCS법에 의한 하중조합(Y방향)

6.3 LRC법과 MCS법의 비교

(1) 응답(하중효과)의 비정상성

그림 13은 응답(하중효과)의 시간이력해석 결과이다. 그림 14는 응답(하중효과)의 시간이력결과를 상대빈도분포로 나타낸 그림이다. 응답의 상대빈도 분포가 Gaussian 분포로부터 비대칭도

(skewness)를 나타내는 non-Gaussian분포의 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 풍압과 응답을 정상확률과정으로 가정하는 LRC법의 경우는 결과값에 다소의 문제점이 발생할 수 있을 것으로 예상된다.

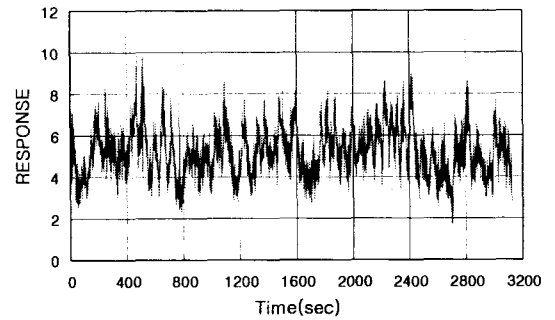


그림 13 시간이력 응답해석결과

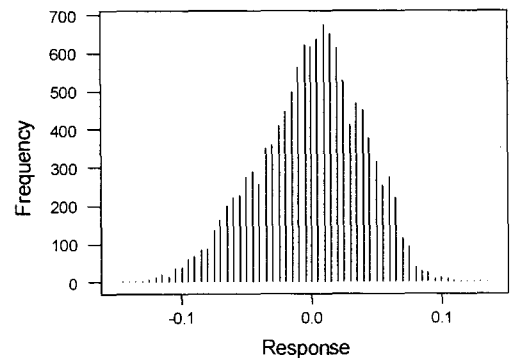


그림 14 응답의 상대빈도 분포

(2) 풍압의 비정상성

그림 15는 각 풍압공의 상대빈도분포를 나타낸 그림이다. 바람의 박리영역에 있는 풍압공 R194와 R238은 Gaussian 분포로부터 큰 비대칭도(skewness)를 나타내는 non-Gaussian분포의 특성을 보이고 있지만 박리후류의 재 부착 영역에 있는 R137은 Gaussian 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다. 본 논문에는 전 풍압공에 대한 내용을 다룰 수는 없지만 지붕의 상당한 영역에서 non-Gaussian분포의 특성을 나타냄을 알 수 있었다. 이러한 사실에 비추어 보아 상당한 영역에서의 non-Gaussian분포의 특성이 결국 응답(하중효과)의 비정상성에 기여했다는 것을 알 수 있다.

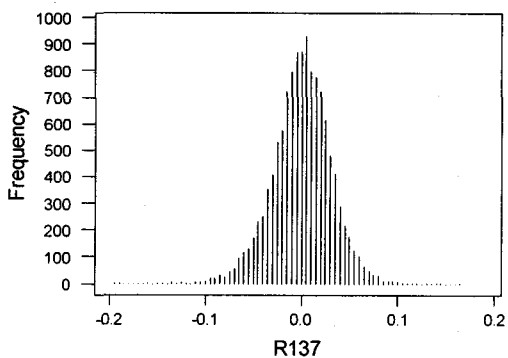
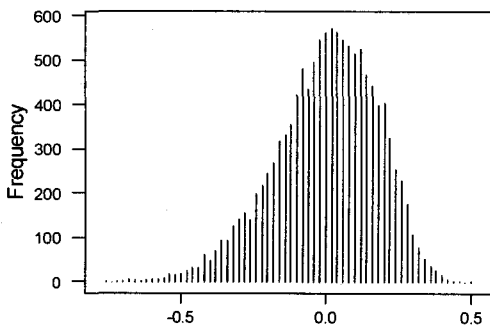
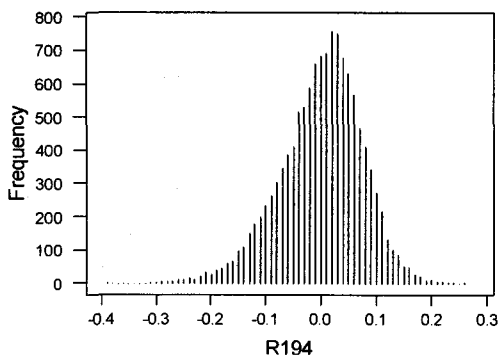
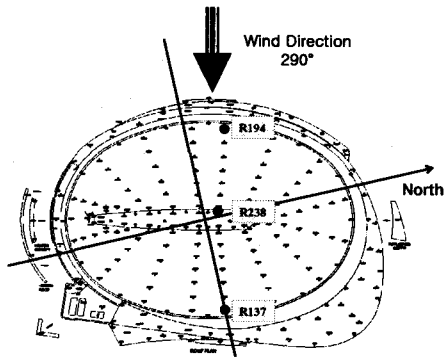


그림 15 풍압의 상대빈도분포

(3) 비공진 풍압의 PROFILE

그림 16,17은 5회이상블 평균한 MCS법과

LRC법으로 구한 비공진 풍압 PROFILE을 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 박리 후류 영역 즉 Gaussian영역에서는 MCS법과 LRC법이 잘 일치하지만, 박리영역 즉 non-Gaussian 영역의 경우는 MCS법과 LRC법이 일치하지 않음을 알 수 있다.

이러한 이유는 non-Gaussian의 특성만으로는 설명될 수 없고 확률적으로 시간평균특성을 가지는 LRC법으로는 복잡하게 변동하는 박리영역에서의 순간적인 풍압분포를 표현하기에는 어려움이 있음을 알 수 있다.

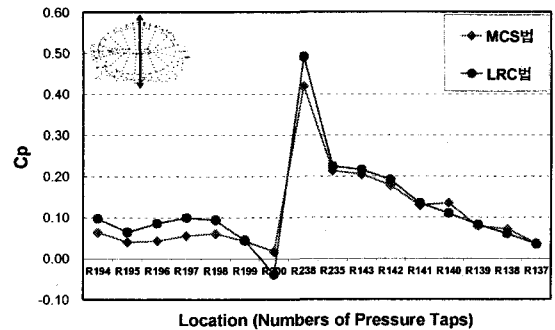


그림 16 풍압 PROFILE(Y방향)

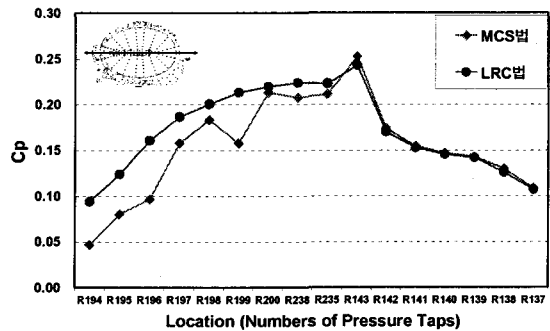


그림 17 풍압 PROFILE(X 방향)

7. 결 론

실프로젝트인 광명돔 경기장의 풍동실험 결과를 이용하여 GF법, LRC법과 MCS법을 적용할 경우 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 대스팬 돔구조물의 경우 1차모드만을 고려하여 평균풍압분포에 Gust Factor를 적용하여 풍하중을 산정하기에는 상당한 무리가 있다.
- (2) 대스팬 돔구조물에서와 같이 상당한 영역이

비정상성의 특성을 가지는 non-Gaussian 풍압영역이 될 경우 응답(하중효과)도 비정상성을 나타내므로 정상확률과정의 가정하에 산출된 풍하중은 과소 평가될 수도 있다. .

(3) 박리영역에서처럼 non-Gaussian 영역의 풍압PROFILE은 Gaussian분포의 가정하에 산출된 LRC법의 결과와 일치하지 않게 된다.

(4) 또한 확률적으로 시간평균특성을 가지는 LRC법으로는 복잡한 박리영역에서의 순간적인 풍압분포를 표현하기가 어렵다.

참고문헌

1. 대한건축학회(2001), 2000년 건설교통부제정 건축물 하중기준에 따른 풍하중 해설 및 설계, 태림문화사
2. RWDI(2004), Final Report STRUCTURAL WIND LOAD STUDY VELODROME, January 15
3. 대우건설기술연구소(2002), 광명시 경륜장 풍동실험보고서, June 7
4. ANSYS Inc.(2004), ANSYS Structural Analysis Guide, ANSYS R 8.0
5. Yasushi Uematsu, Osamu Kuribara, Motohiko Yamada, Akihiro Sasaki, Takeshi Hongo(2001), Wind-induced dynamic behavior and its load estimation of a single-layer latticed dome with a long span, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 89, 1671-1687
6. J.D.Holms(1996), Along-wind response of lattice towers-III. Effective load distributions, Engineering Structures, Vol. 18, No. 7, pp. 489-494
7. 김영문 외 3인 공역(2002), 건축물의 내풍설계, 한림원