

인천국제공항 관제탑에 대한 내풍성능 평가

Evaluation of Wind-Induced Loads for the Incheon International Airport Traffic Control Tower

최 창식* 김 효진** 윤 병익***
Choi, Chang-Sik Kim, Hyo-Jin Yoon, Byung-Ik

ABSTRACT

The need for special or high-rise building has made it necessary to fully understand the effects of wind forces on that. The objective of this study is to provide the information on the evaluation of Wind-Induced Loads for the Incheon International Airport Traffic Control Tower. Based on the results of this study, it can be found that the maximum base overturning moment getting by the dynamic model is higher than the static test one. And also, the assessment of serviceability comparing by the ISO-6897 is not appropriate. It is recommended that the reducing system of the wind-induced vibrating is needed in this structure.

1. 서 론

고층건물의 설계시에는 연직하중 뿐 만 아니라 바람이나 지진과 같은 수평하중의 영향을 고려해야 하며, 주변 건축물과 설계하고자 하는 건축물의 형상등에 따라 실제 건축물에 미치는 이들의 영향은 매우 다를 수 있다. 최근에는 고층 건축물의 신축이 점차 증가되고 있음에 따라 외력으로서의 풍하중은 특히 중요한 요소가 되고 있다. 따라서, 형상에 따른 건축물의 바람영향을 평가할 때는 내풍성능 평가가 필요하며, 이를 위해서는 원칙적으로 풍동실험이 필수적이다. 그러나, 현재 국내에서는 일반적으로 고층 구조물 설계시 시간과 경비상의 문제 등에 따라 정적 내풍성능 평가만을 수행하여 설계하고 풍동실험을 통한 구조물의 안정성 및 사용성 검토를 생략하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 해안지대에 위치하면서 그 높이가 상당히 높아 바람의 영향이 클 것으로 예상되는 영종도 신공항 관제탑을 대상으로 하여 현 국내 규준에 따른 정적 내풍성능을 검토함과 동시에 풍동실험 결과를 토대로 한 동적 내풍성능과의 비교·분석을 통하여 그 설계상의 적정성 여부를 평가하고, 궁극적으로는 내풍설계 기술향상을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 내풍성능 평가

건물의 내풍성능 평가는 건물의 안전성(Safety), 안정성(Stability), 사용성(Serviceability) 등이 검토되어야 하나, 본 연구에서는 관제탑 구조물의 거동에 중점을 두으로써 그 안정성과 사용성에 한하여 비교·분석하기로 한다. 본 연구대상인 관제탑 구조물의 입면도는 그림 1과 같다.

* 정회원, 대전대학교 건축공학과 조교수

** (주) 동양구조 대표이사

*** (주) 동양구조 이사

2.1 정적 내풍성능 검토

2.1.1 풍하중 산정

설계 기본 풍속은 40(m/sec), 노풍도 C, 해안지역임을 고려하여 20%를 증가시킴으로써 해당 높이별 경도풍에 따른 풍하중을 산정하면 표 1과 같다.

표 1. 높이별 풍하중 산정값

높이(m)	C	q(kg/m ²)	A(m ²)	P(t)
106	1.4	296.3	23	9.5
101	1.4	292.1	32	13.1
94.4	1.4	286.8	155	62.2
89	1.4	281.8	24	9.5
79.2	1.4	272.5	243	92.7
0 ~ 69.8	1.2	*F	593.3	143.8

$$*F = \int^{69.8} (1.25) \cdot (2.58) \cdot \left(\frac{z}{270}\right)^{\frac{2}{7}} \cdot \left(\frac{1}{16} V_0^2\right) \cdot (1.2) dz$$

표 2. 밀면 전단력, 전도 모멘트, 안정 모멘트 값

밀면 전단력 Q(t)	전도 모멘트 Mo(tm)	안정 모멘트 Ms(tm)	안전률
330.8	27100	총 자중 9683.5(t) 9683.5 × 7.5 = 72,626	2.68

2.1.2 안정성 검토

정적 내풍성능상의 안정성은 표 2와 같이 밀면 전단력(Base Shear)과 전도 모멘트, 안정 모멘트를 구하여 그 안전률로써 검토한다.

표 2에서 알 수 있는 바와 같이 최대 전도 모멘트는 Mo = 27,100(tm) 이며, 총 자중에 의한 안정 모멘트 Ms = 72,625(tm)이다. 따라서, 안정 모멘트에 대한 최대 전도 모멘트의 비인 안전률이 2.68로써 1.5보다 큰 값으로 안정성에 문제가 없는 것으로 판단된다.

2.1.3 사용성 검토

사용성 검토를 위하여 STAAD-III 프로그램을 사용하여 구한 최대변위는 12.4(cm)이고, 허용 변위는 9810/500 = 19.6(cm)로 산정되었다. 따라서, 최대변위가 허용변위 이내인 것으로 보아 본 관제탑의 정적 내풍성능상의 사용성에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

2.1.4 소결

관제탑에 미치는 풍하중을 현 국내 규준에 따라 정적 내풍성능상의 안정성과 사용성을 검토해 본 결과, 안정성에 대한 안전률이 1.5를 상회함과 동시에, 최대변위가 허용값 이내에 있는 것으로 사용성에도 문제가 없는 것으로 나타났다.

2.2 풍동 실험을 통한 동적 내풍성능 검토

본 관제탑의 동적 내풍성능을 검토하기 위하여 일본의 시미즈 사(Wind Tunnel Laboratory of Institute of Technology, Shimizu Corporation)에 의뢰하여 풍동실험을 행하였다[1].

2.2.1 관제탑 구조물의 구조 개요

대상 관제탑 구조물의 높이 H=109.9(m), 폭 B=21(m), 직경 D=8.5(m) 이며, 풍동실험을 위한 모델의 설정값 중 고유 진동주기 T₁ = 2.04(sec), 댐핑(Damping ratio) h₁=0.01 이며, 기본 모드의 형상(Mode shape of the fundamental mode)은 그림 2와 같다.

2.2.2 설계 풍속

설계용 풍속(U_H)을 구하기 위하여 인천지역의 100년 재현주기 풍속 28(m/s)에 대한 설계 기본 풍속(U₀)을 검토한 결과 38.0(m/s)로 나타났으며, 이는 현 기준의 40m/sec와 잘 일치되고 있어 이 값을 설계기본풍속으로 한다. 따라서, 높이 H=109.9(m)에서의 설계풍속을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 U_H &= \sqrt{2.58} \times U_o \times \left(\frac{H}{Z_G}\right)^{\alpha} \times \sqrt{1.2} \\
 &= \sqrt{2.58} \times 40 \times \left(\frac{109.9}{270}\right)^{\frac{1}{7}} \times \sqrt{1.2} \\
 &= 61.9(\text{m/s})
 \end{aligned}$$

2.2.3 공기력 측정 실험(Force balance test)

(1) 실험 개요

실험모델의 크기는 1/150로 축소 제작하고, 풍동기 내에서의 평균 풍속은 U_H = 4.2(m/s)로 설정하였다. 풍력 측정 방향은 -5° ~ 45° 까지 매 5° 마다 측정하고, 50° ~ 350° 까지는 매 10° 마다 측정을 실시하였다. 측정 분력의 성분 F_x, F_y, M_x, M_y를 각각 측정하였다.

(2) 실험결과

풍향에 따른 변위, 밀면전단력, 전도모멘트에 대한 실험결과는 각각 그림 3, 그림 4, 그림 5와 같으며, 이 들에 대한 최대 값은 각각 표 3과 같다.

표 3. 변위, 밀면 전단력, 전도 모멘트의 최대값

분류	변위(Displacement)		밀면 전단력(Base Shear)		전도 모멘트(Overturing Moment)	
	변위(cm)	풍향각(°)	전단력(t)	풍향각(°)	모멘트(tm)	풍향각(°)
x - axis	25.6	45	489	45	33,877	45
y - axis	24.9	50	481	310	-33,036	50

2.2.4 안정성 검토

공기력 측정 실험 결과 최대 전도 모멘트 M₀ = 33,877(tm) 이며, 총 자중에 의한 안정 모멘트 M_s = 72,625(tm)이다. 따라서, 안정 모멘트에 대한 최대 전도 모멘트의 비인 안전률이 2.14 로써 1.5보다 큰 값으로 안정성에 문제가 없는 것으로 판단된다.

2.2.5 사용성 검토

2.2.5.1 사용성 검토를 위한 설계풍속 산정

5년 재현주기에 대한 인천지역에서 조사된 기본풍속(지상 11M에서 측정)은 U₁ = 21.2(m/s)이며, 이에 따른 관제탑 최상층에서의 풍속을 산정하면 다음과 같다.

$$U_1 = 21.2 \times \left(\frac{109.9}{10} \right)^{\frac{1}{7}} = 29.8(\text{m/sec})$$

2.2.5.2 관제탑 최상층에서의 진동 가속도와 제진기준 비교검토

ISO-6897[2]에서 제시된 구조물의 진동에 대한 평가는 일반건물과 특수건물로 나누어 크기를 평가하고 있다. ISO-6897에서 제시하는 허용 진동 가속도는 2.0(cm/s²), 실제 진동 가속도는 16(cm/s²)으로써(그림 6 참조), 허용 진동가속도를 상회하는 것으로 나타나 사용성에 다소 문제가 있는 것으로 판단된다.

3. 비교 및 고찰

이상과 같이 정적 및 동적 내풍성능을 평가한 결과를 정리하면 표 4와 같다. 본 표에서 알 수 있는 바와 같이 본 관제탑은 정적 내풍성능 검토상 안정성 및 사용성에 문제가 없는 것으로 판단되나, 동적 내풍성능을 고려하면 사용성에 다소 문제가 있는 것으로 판단된다. 따라서, 풍동실험으로 확인된 관제탑의 사용성은 ISO에서 제시한 값을 기준으로 평가하여 볼 때, 제진장치의 도입이 필요한 것으로 판단된다.

표 4. 내풍성능 비교표

구분	정적 내풍성능	동적 내풍성능
안정성	전도모멘트 27,100(tm)	전도모멘트 33,877(tm)
	안전률 2.68	안전율 2.14
사용성	허용변위 = $\frac{H}{500} = \frac{9810\text{cm}}{500}$ = 19.6(cm)	ISO-6897에서 제시 하는 허용 진동 가속도 2.0(cm/sec ²)
	건물의 변위 12.4(cm)	실제 진동 가속도 16.0(cm/sec ²)
	적합	부적합

4. 결론

본 연구에서는 영종도 신공항 관제탑의 안정성 및 사용성 여부를 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 정적 내풍성능 검토시 전도 모멘트나 밀면 전단력, 횡변위량을 안전측으로 설계하기 위하여 다소 여유 있게 계산되었음에도 불구하고 안전률은 높게 평가되었다.
- (2) 동적 내풍성능 평가에 의한 전도 모멘트는 정적 내풍성능 검토시보다 높게 측정되었다.
- (3) ISO-6897에서 제시한 값을 기준으로 동적 내풍성능상 그 사용성을 평가하여 본 결과, 사용성에 다소 문제가 있는 것으로 검토되었다. 따라서, 본 관제탑과 같은 특수 목적의 구조물일 경우에는 풍동실험에 의한 사전 검토가 필수적인 것으로 사료되며, 본 관제탑에서는 제진장치의 도입이 병행되어야 할 것으로 판단된다.

본 논문의 많은 기술적인 자료는 신공항 건설공단의 협조하에 얻어진 것으로, 관계자 여러분께 감사드립니다.

5. 참고문헌

1. SHIMIZU Corporation Report, "Prediction of Wind-Induced Loads for the Incheon International Airport Air Traffic Control Tower : Phase I Study Report Force Balance Test and Pressure Test," Aug. 27, 1996
2. International Standard ISO 6897-1984(E)
3. SHIMIZU Corporation Report, "New Seoul International Airport Air Traffic Control Tower : Brief Summary of Force Balance Test," June 13, 1996
4. 인천 기상대, "인천의 최근 35년간 풍속자료 (1961 ~ 1995)"
5. Bungale S. Taranath, "Structural Analysis and Design of Tall Buildings," 1996. 5
6. Emil Simiu and Robert H. Scanlan, "Wind Effects on Structures," Mcgraw-Hill, 1996

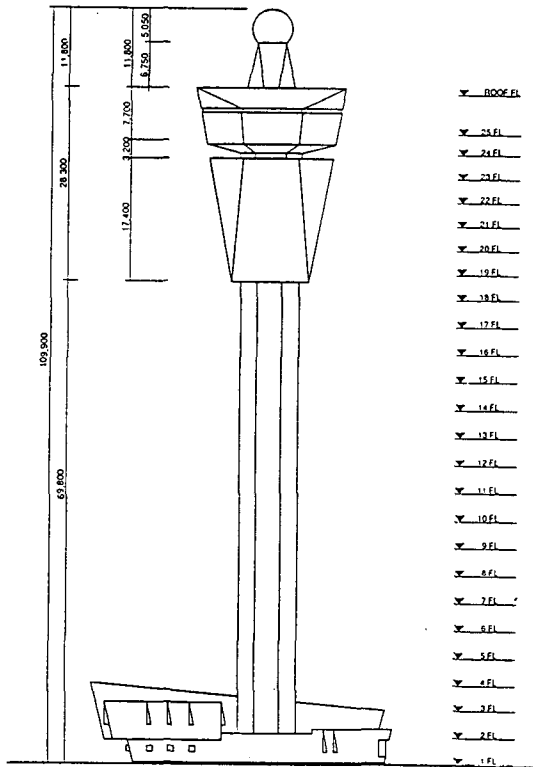


그림 1. 관제탑 입면도

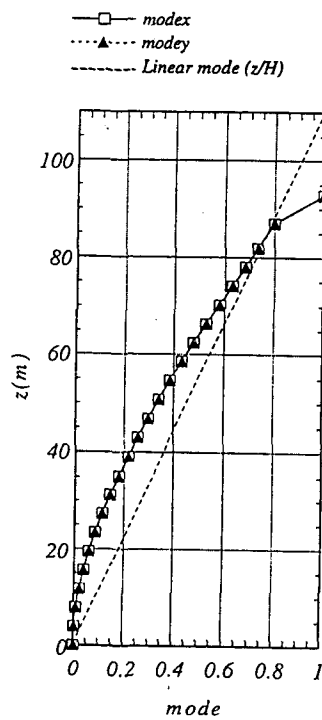


그림 2. 기본모드 형상

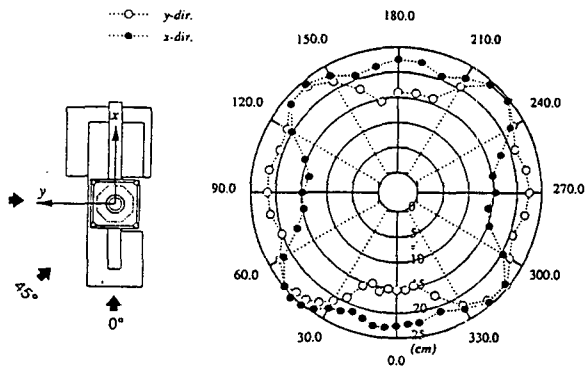


그림 3. 최대 변위

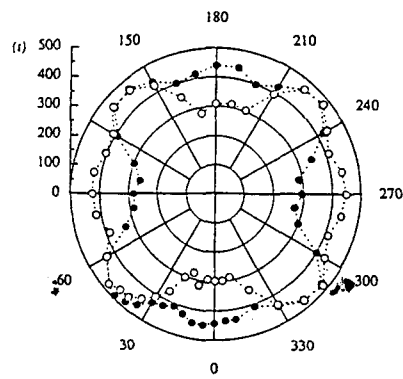


그림 4. 최대 밀면 전단력

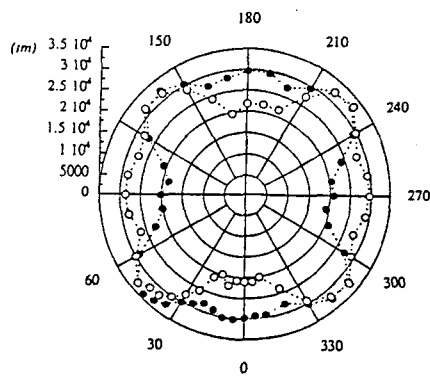


그림 5. 최대 전도 모멘트

Structure Damping $\xi_s = 0.01$
 Natural Frequency $f_s = 0.490\text{Hz}$

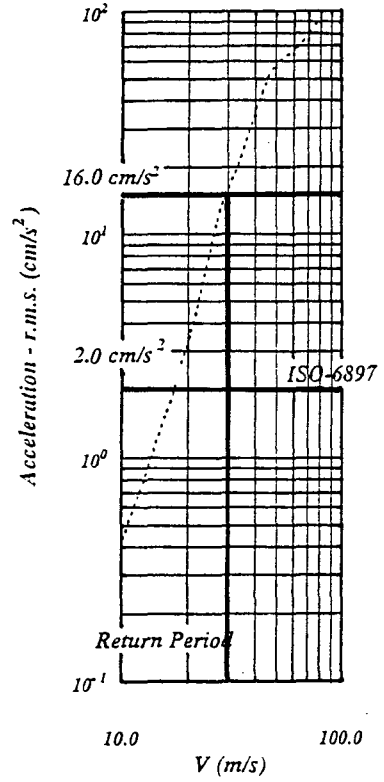


그림 6. 진동 가속도