

활주로 주변 건물로 인하여 발생하는 Ground Turbulence 감소 방안

A Method for Reduction in Ground Turbulence by the Constructions in the Vicinity of Runway

홍교영*, 신동진**

Gyo-Young Hong*, Dong-Jin Sheen**

요 약

본 논문은 활주로 주변 건물로 인하여 발생하는 ground turbulence를 효과적으로 감소시키는 연구의 일환이다. 이러한 ground turbulence는 sport plane이나 중소형 무인항공기의 이착륙 안정성에 큰 영향을 미치고 있으며, 이러한 ground turbulence의 발생 원인을 2차원 전산수치해석을 통하여 연구하였다. 연구결과 활주로의 건물단면 형상이 건물의 높이보다 ground turbulence를 발생시키는 주요 원인임을 알 수 있었으며, 이러한 ground turbulence를 효과적으로 감소하기 위해서는 바람방향의 건물 앞쪽에 fence나 계단형상 및 gap등의 시설물을 설치하여 초기에 난류를 발생시킨다면, 측풍의 풍속이 변하더라도 상대적으로 활주로에 큰 영향이 미치지 않게 제어할 수 있음을 알 수 있었다.

Abstract

This paper illustrates how simulation modeling can be reduced of ground turbulence by the constructions in the vicinity of airport runway and reports on a cause of ground turbulence using two-dimensional CFD analysis. Interesting result is that the shape in cross-section show the higher ground turbulence than the height of the building. The predicted results confirmed reduction of wind-effect by doing that set up the building with a fence, terraced shape or gap and it can generate turbulence in embryo at this stage. We knows that cross-wind effect in the vicinity of airport runway is highly dependent on the shape of the buildings.

Key words : Ground turbulence, CFD, Runway

I. 서 론

활주로를 이착륙하는 항공기는 활주로에서 발생하는 측풍, 돌풍, wind shear, 및 건물 등에 의해 발생 ground turbulence에 영향을 받게 된다. 이러한 유동현

상은 소형 항공기를 비롯한 sport plane, 중소형 무인항공기 등의 조종에 큰 영향을 미치게 되고 순식간에 조종이 불가능해져 항공기를 위협에 빠뜨리기도 한다.[1]-[5] 본 논문에 앞서 진행된 연구[6]에서 시험 활주로 주변 시설물에 의해 발생한 유동현상으로 받

* 한서대학교 항공기술연구소

** 한서대학교 항공기계학과

· 교신저자 (Corresponding Author) : 신동진

· 투고일자 : 2009년 11월 14일

· 심사(수정)일자 : 2009년 11월 16일 (수정일자 : 2009년 12월 21일)

· 게재일자 : 2009년 12월 30일

음각이 최대 약 6°이상 감소하는 현상이 나타남을 알 수 있었고 실제로 중·소형 무인항공기나, sport plane 등의 이착륙 조종에 어려움이 발생하기도 하였다. 이러한 현상은 활주로 시설물에 불어오는 측풍에 의해 발생하는 ground turbulence 때문인데, 본 연구에서는 ground turbulence가 활주로에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 연구하고 차후 이를 효과적으로 감소시키는 방법을 찾고자하는 연구의 한 부분이다.

현재 측풍불어 주변 시설물에 의해 발생하는 ground turbulence에 대한 연구는 거의 없는 실정이며, 단순히 측풍을 측정하여 활주로 건설에 대한 제한규정에 대한 연구가 대부분으로 단순하게 활주로 건설에 이용되고 있는 정도이다.[7]-[9] 특히 활주로를 건설할 때 적용되는 측풍의 영향은 건설지형주변에서 발생하는 기상현상에 대한 데이터를 사용하기 때문에 활주로는 완성되고 각종 시설물이 들어서거나, 주변 지형 및 환경이 변하게 되면, 활주로 건설 초기에 측정되고 관찰된 풍향이나 유속이 크게 변할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 측풍이 불 때 활주로 주변의 건물이나 시설물에 의해 발생하는 ground turbulence를 2차원 수치해석으로 분석하여 활주로에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 연구하고 이를 바탕으로 ground turbulence를 효과적으로 제어할 수 있는 방안을 마련하고자 한다.

는 격납고와 관제탑 그리고 교육시설이 건설되어 있다. 주변 시설물과 활주로 사이의 거리는 그림 2와 같으며, 활주로의 중앙선이 건물로부터 145m 떨어져 있다.

시설물에서 발생하는 유동현상을 2차원 수치해석하기 위해서는 각 건물의 주요 단면의 치수를 알아야 하는데 각 시설물의 단면명칭과 치수는 그림 3과 같다.

그림 3에서 나타난 건물의 단면 형태와 치수는 그림 2에 나타난 각 건물의 단면 중에서 가장 대표적인 단면 3가지를 선택하였으나, 격납고-1의 가운데 단면과 격납고-2의 우측 단면의 형상과 치수가 동일하므로 총 7개의 단면에 대하여 2차원 수치해석을 실시하였다.

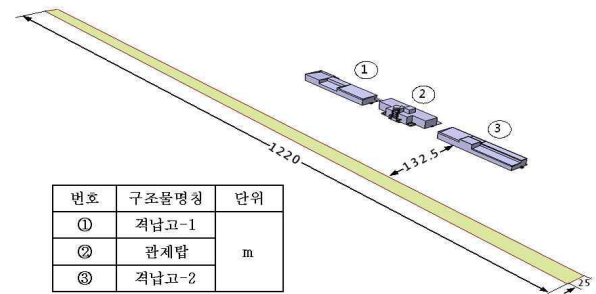


그림 2. 활주로의 위치와 구조물
Fig. 2 Dimension of Runway

II. 본 론

2-1 수치모형



그림 1. 시험 비행장 전경
Fig.1 Picture of Test Runway

본 연구에 이용된 비행장 모델은 그림 1과 같으며, 활주로의 길이는 1,200m이고 활주로의 폭은 25m이며 활주로의 방향은 15-33 방향이다. 공항 시설물로

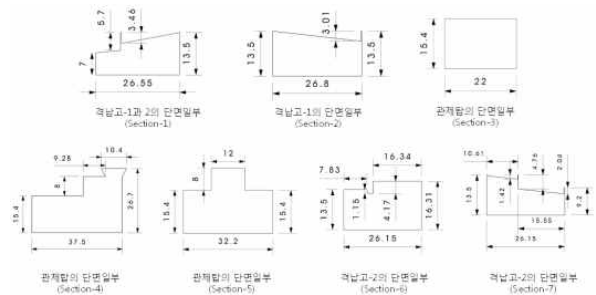


그림 3. 시설물 단면의 치수
Fig. 3 Dimension of Building Section

2-2 계산격자

그림 3에 나타난 각 건물의 단면과 치수를 이용하여 2차원 수치해석의 수행하였는데 이때 사용된 각 단면의 명칭과 계산격자의 수를 표 1에 나타내었다.

표 1에서 각 단면명칭마다 계산격자의 수가 다르게 나타난 것은 수치모형의 형상이 서로 다르고 수치

해석의 방법에 있어 Grid Adaption 기법을 사용한 결과이다. 계산에 사용된 계산격자의 형상은 삼각격자이며, 계산격자의 형상을 그림 4에 나타내었다.

표 1. 건물 단면의 명칭 및 계산격자의 수
Table 1. Section Name & Number of Grid

구조물명칭	단면명칭	계산격자의 수		
		Cell	Faces	Nodes
격납고-1 (Hanger-1)	Section-1	120,545	197,834	77,290
	Section-2	103,947	171,547	67,601
관제탑 (Tower)	Section-3	89,281	142,670	53,390
	Section-4	98,534	159,677	61,144
	Section-5	127,506	209,284	81,779
격납고-2 (Hanger-2)	Section-6	126,198	208,454	82,257
	Section-7	82,004	130,132	48,129

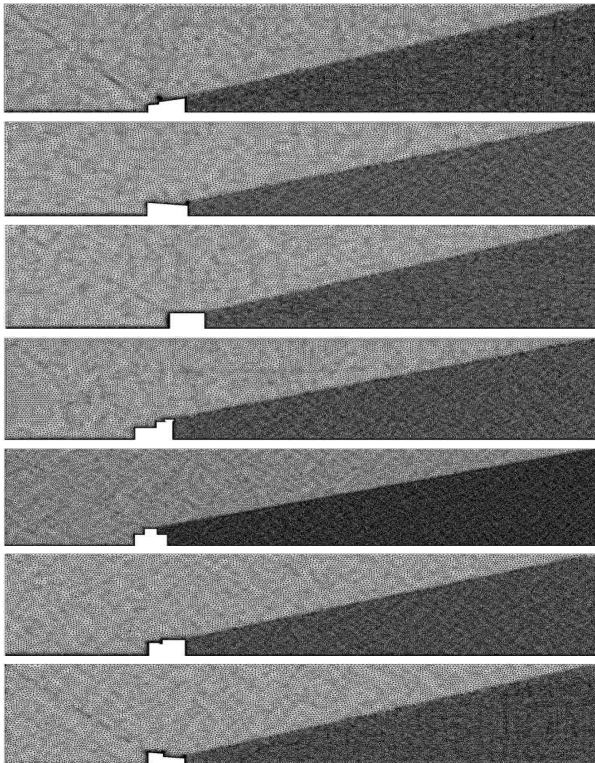


그림 4. 각 단면의 계산격자 형상
Fig. 4 Grid Form of Computational Field

2-3 기상 데이터 분석

본 논문은 활주로 주변 시설물에 측풍이 불어올 때 이로 인하여 발생하는 활주로 상의 ground turbulence에 대한 연구이다. 따라서 활주로에 불어오는 풍향·풍속에 대한 기상 데이터의 분석이 반드시 필요하다. 본 논문에서 사용된 기상 데이터는 시험

비행장에 설치된 기상 데이터 수집 장치에서 2007년 1년 동안 기록된 기상 데이터를 이용하였다.

표 2.는 기상 데이터의 분석결과 측풍이 활주로 주변의 구조물에 영향을 미치는 경우대한 기상 관측표이다. 1년 동안 측정된 기상 데이터의 분석결과 순간 최대 풍속은 약 3.28m/s ~ 18.05m/s의 범위를 가지며, 활주로의 방향을 고려하여 순간 최대 측풍속도로 환산한 경우 최대 18.05m/s에서 최소 1.79m/s의 측풍 범위를 가진다.

표 2. 기상 관측표
Table 2. Table of weather observation

풍향	%	순간 최대풍속	순간최대 측풍속도
320°	12.39	12.96[m/s]	2.25[m/s]
310°	11.82	12.51[m/s]	4.28[m/s]
190°	8.93	15.02[m/s]	9.66[m/s]
180°	6.05	15.39[m/s]	7.67[m/s]
300°	4.03	8.49[m/s]	4.25[m/s]
250°	3.75	15.36[m/s]	15.13[m/s]
160°	3.17	10.28[m/s]	1.79[m/s]
200°	2.88	15.15[m/s]	11.61[m/s]
270°	2.59	15.26[m/s]	13.21[m/s]
260°	2.59	15.58[m/s]	14.64[m/s]
170°	2.02	7.15[m/s]	2.45[m/s]
290°	0.86	15.47[m/s]	9.94[m/s]
280°	0.86	16.26[m/s]	12.45[m/s]
240°	0.86	18.05[m/s]	18.05[m/s]
230°	0.86	15.81[m/s]	15.57[m/s]
220°	0.86	3.58[m/s]	3.36[m/s]

2-4 수치해석 방법

수치해석은 상용프로그램인 Fluent 6.3을 이용하여 2차원 수치해석을 수행하였으며, 경계조건으로는 velocity inlet과 pressure outlet을 사용하였다. Velocity inlet 조건으로 표 2.의 기상 데이터를 바탕으로 측풍을 5m/s, 10m/s 그리고 15m/s의 3가지 입력조건으로 21가지 종류의 모델에 대하여 2차원 수치해석 하였다. 사용된 난류모델은 k-ε을 사용하였으며, 난류 모델의 수송방정식은 식(1), 식(2)와 같다.[10]

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) \\
 & = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho\epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\epsilon u_i) \\ &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (2)$$

식(1)과 식(2)에서 $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$ 이고 G_k 는 평균속도 구배에 의한 난류운동에너지, G_b 는 부력에 의한 난류운동에너지 그리고 $C_{1\epsilon}$, $C_{2\epsilon}$, $C_{3\epsilon}$ 은 상수이며, σ_k , σ_ϵ 은 k 와 ϵ 에 대한 난류 Prandtl number이다.

수치해석에 사용된 하드웨어는 Intel Xeon dual core 5160 3.0GHz CPU 2개와 12Gbyte 메모리를 장착한 하드웨어를 이용하여 4개의 core로 multi-processing으로 해석하였으며, 각 수치모형에 따라 조금씩의 차이는 있지만 격자수가 가장 많은 Section-5의 경우 CPU time이 약 135초 정도 사용되었다.

2-5 수치해석 결과

활주로의 측풍이 불었을 때 활주로 주변건물에 의한 활주로상의 유동현상에 대한 수치해석의 결과는 그림 5에서부터 그림 25와 같다. 이 그림은 정압, 속도벡터 그리고 난류강도에 대한 그림이며, 이 수치해석의 결과를 이용하여 활주로 상에 발생할 수 있는 ground turbulence의 원인을 분석 하여 그림 26 ~ 그림 33에 나타내었다. 특히 그림에서 나타난 일점쇄선은 활주로 중앙선의 위치이며, 각 단면의 건물로부터 145m 떨어져 있다.

그림 26은 활주로 중앙선의 기준으로 하였을 때 각 단면이 가지는 최소 정압의 수평위치를 나타낸 그래프이다. 모든 건물단면에서 최소 정압은 활주로 중앙선과 건물 사이에 존재하며, Section-2와 Section-6의 최소 압력점이 활주로 중앙에서부터 가장 멀리 떨어져있고, Section-4가 활주로의 중앙선과 가장 가깝게 위치하고 있다. 최대 거리 차는 풍속에 따라 조금씩 차이는 있지만 약 2.4배 정도 가진다.

특히 Section-2와 Section-6은 다른 단면과 다르게 풍속이 증가하여도 최소 정압의 위치변화가 거의 없으며, 이러한 현상은 건물의 단면형상에 관련 있으므로 판단된다. 특히 Section-2의 경우 단면형태가 하류 쪽으로 갈수록 낮아지는 형태를 가지기 때문에 건물의 지붕에서 다른 Section보다 큰 저압구역이 발생

하게 되고 이러한 저압구역으로 인하여 측풍의 속도가 증가하여도 활주로상의 저압부를 뒤로 밀려나지 않게 하는 것으로 판단된다.

Section-6은 모든 측풍속도 영역에서 건물의 전방상단에 가장 낮은 정압부를 형성하고 있다. 이는 다른 section과는 다르게 나타나는 현상으로 건물의 단면 형상이 계단형상을 가지고 있고, 계단형상 바로 아래 위치한 gap에 의하여 나타나는 현상으로 생각된다. 따라서 건물의 전방상단에 가장 낮은 정압부를 형성하게 되고 이로 인하여 건물 후방에 발생하는 압력분포가 활주로방향으로 밀려가는 것을 막아주는 것으로 생각된다. 특히 이와 같은 현상은 Section-1과 Section-7의 정압분포에서도 유사한 현상을 보이고 있지만, fence의 위치와 측풍의 속도증가에 따라 조금씩 다른 양상을 보인다.

그림 27은 활주로 상에 존재하는 최소압력 점의 높이를 나타낸 그림이며, Section-2와 Section-6의 최소 정압의 높이가 가장 낮고 Section-4의 높이가 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 건물의 형상과 높이에 따른 결과로 최소 정압의 수평위치에서 설명된 결과를 따르는 것으로 판단된다. 특히 건물의 높이가 높다고 최소정압지점의 높이가 무조건 증가하는 것이 아니라 오히려 건물의 단면형상이 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그림 33에서 알 수 있듯이 최소 정압부지점이 가장 높은 단면은 Section-4로 가장 높은 건물이지만, Section-4의 높이에 0.35배인 Section-3의 최소 저압지점의 높이는 Section-4에 약 0.6배에 이른다.

그림 28은 활주로 상에 발생하는 최소 정압의 크기를 나타낸 그림이다. 단면별 풍속변화에 따라 최소 압력의 크기변화는 동일한 경향을 나타내고 있지만, 측풍의 속도가 증가할수록 활주로 상의 최소 정압의 편차는 증가하는 것을 알 수 있다. 최소 정압이 가장 작은 단면은 Section-2와 Section-6이며, 가장 큰 단면은 Section-3이다. 특히 건물의 높이가 가장 높은 Section-4의 경우 최소정압의 크기가 최소가 아니라는 것이다. 즉, 최소 정압의 크기는 건물의 높이 보다는 건물의 형상에 더 큰 영향을 받는 것으로 생각된다.

각 단면에 대한 정압분포를 살펴본 결과 최소정압의 위치와 크기가 큰 편차를 보이고 있다. 특히 시험 비행장과 같이 활주로 주변 시설물이 활주로같이 나

란하게 설치되어 있을 경우 최소정압 지점과 최소정압의 크기가 각 단면마다 큰 편차를 보임으로써 활주로를 따라 발생하는 ground turbulence의 특성이 활주로 길이방향으로 다르게 나타나게 되어 이·착륙하는 항공기의 이·착륙안정성에 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다.

그림 29는 그림 5 ~ 그림 25의 속도벡터를 이용하여 활주로 각 건물단면에서 발생될 수 있는 후류의 발생범위를 유추한 그림이다. 후류의 발생범위는 건물의 높이가 높을수록 증가하지만, 동일한 높이를 가진 건물의 경우 건물 단면의 형상에 따라 후류의 발생범위의 편차가 크게 발생된다. 후류의 발생범위를 비교해보면 Section-3의 후류 발생범위가 가장 크고 Section-1의 후류 발생범위가 가장 작았으며 Section-3의 후류 발생범위가 Section-1에 비하여 약 40% 증가하였음을 알 수 있다. 특히 Section-1과 Section-6의 경우는 측풍의 풍속이 크게 증가하더라도 후류의 발생범위가 풍속에 비례하지 않고 거의 일정한 범위를 가진다.

그림 30은 활주로의 중앙에서 측정된 후류의 두께로써 속도벡터를 이용하여 추정하였다. 활주로 주변 시설물에 의해 발생하는 후류의 두께는 얇고 그 길이는 짧아야 활주로서 발생하는 ground turbulence를 줄일 수 있다. 그림에서 Section-4와 Section-5와 같이 다른 단면에 비하여 높이가 높은 단면이 가지는 후류 두께가 현저하게 두껍다는 것을 알 수 있다. 하지만 Section-5의 높이가 Section-4의 높이보다 오히려 낮고, 높이차가 10%이내인 다른 단면에 대한 후류의 높이를 비교해보면 건물의 높이에 비례하여 후류의 두께가 증가하지 않는다는 것을 알 수 있다. 이는 Section-6의 경우를 보면 알 수 있는데 Section-6의 경우 높이가 16.3m로 Section-4와 Section-5 다음으로 높은 건물이지만 후류의 두께는 속도에 따라 22.5m, 23.4m, 24.2m로 Section-1 다음으로 낮은 후류의 높이를 가진다. 이러한 현상은 건물의 높이가 후류의 두께를 지배하는 가장 큰 요소이긴 하지만, 건물의 단면형상에 따라서 어느 정도 후류의 두께를 제어할 수 있다는 것을 의미한다.

각 단면별로 나타나는 압력분포와 속도벡터로 추정한 후류의 특성은 다음과 같은 원인에 의한 것으로

생각된다. 건물의 길이를 특성길이라고 보았을 때 건물을 지나는 흐름에 대한 Reynolds 수가 풍속에 따라 최저 895,000에서 최대 3,850,000 정도 값을 가진다. 즉 풍속이 10m/s이하의 경우 건물 전체가 천이영역이며, 15m/s 이상의 풍속에서는 건물의 끝단 근처에서 난류부분이 시작되는 유동특성을 가진다고 볼 수 있겠다. 따라서 건물의 전면부분에 fence를 설치하거나, 건물의 형태가 적절한 높이와 위치를 가진 계단형상을 하고 있을 경우 시설물의 전방에서부터 난류를 유발시켜 저압구역을 줄이고 후류의 두께와 범위를 감소시킨 것으로 생각된다. 이런 현상은 활주로 상에 나타는 난류강도를 계산해도 동일한 결과를 얻을 수 있다. 그림 31 ~ 그림 33은 활주로 중앙에서 난류강도의 측정 높이를 5m, 10m, 15m로 변화시켰을 때 나타나는 난류강도를 표시한 그림이다. 난류강도가 가장 작게 나타나는 건물단면은 Section-1이며, 높이에 따라 난류강도의 큰 변화는 없는 것으로 보인다. 활주로의 중앙에서 난류강도가 작게 나타난다는 것은 그만큼 무인항공기와 같은 소형 항공기가 이·착륙할 때 안정적인 이·착륙이 가능하게 하여 이·착륙 성능을 향상 시킬 수 있다.

활주로 주변 시설물에 의해 발생하는 유동현상은 이·착륙하는 sport plane과 같은 소형 항공기나 중소형 무인항공기의 이·착륙성능에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이러한 주변 시설물의 설치하는 활주로 설계당시에 측풍을 고려하여 시설물을 건설하는 것이 가장 좋은 방법이나, 그렇지 못할 경우에는 적절한 조치를 취하여 측풍에 의해 발생하는 유해한 유동현상을 줄일 수밖에 없다. 본 연구에서 살펴본 바로는 시설물의 높이를 낮추거나, 활주로를 주변 시설물로 부터 가능한 멀리 떨어지게 하여 건물로부터 발생하는 후류영향에서 벗어나게 하여야 한다. 그러나 이러한 조건이 불가능할 경우에는 구조물 상단 전반부에 fence나 계단형상 또는 gap등과 같이 난류를 발생시킬 수 있는 시설물을 설치하고 지붕의 경사도를 적절하게 만든다면 건물에 의해 발생하는 저압구역과 후류에 의한 ground turbulence를 최소화 시켜 중소형 무인항공기나, sport plane등과 같은 소형비행기가 이·착륙할 때 좀 더 안정적인 이·착륙이 가능할 것으로 판단된다.

III. 결 론

현재까지 활주로 주변 건물에 의해 발생하는 ground turbulence에 대한 연구는 거의 없는 실정이며, 본 논문은 주변건물에서 발생하는 ground turbulence를 효과적으로 감소시키는 연구의 일환으로 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

비행장에 측풍이 불어 활주로 주변 시설물과 만나 활주로 상에 ground turbulence를 발생시킬 경우 활주로 주변에 큰 저압구역이 발생되어 안전한 이·착륙을 방해할 수 있다. 이러한 저압구역의 수평위치는 주변 시설물의 높이와 시설물 단면의 형상에 따라 달라질 수 있지만 주로 높이가 높을수록 건물로부터 먼 곳에 생긴다. 하지만 동일한 높이의 건물에서는 건물단면의 형상에 따라 큰 편차를 보이며 수평위치가 결정된다.

활주로 상의 최소 정압의 높이는 건물의 높이 보다는 단면형상에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 최소정압의 크기는 측풍의 속도가 증가할수록 각 단면마다 그 편차가 증가하지만 측풍이 5m/s이하의 경우 큰 편차를 보이지 않고 있다. 특히 활주로에서 최소정압의 크기는 건물의 높이보다는 건물단면 형상에 의해 결정되어진다.

속도벡터를 이용하여 후류의 발생범위를 유추한 결과 단면별 후류 영역의 범위는 건물의 높이가 높을수록 크게 나타났으나, 동일한 높이의 건물에서 각 건물의 단면형상에 의해 후류 발생범위의 편차가 약 최대 40% 정도 까지 차이가 발생되며, 특히 Section-1과 Section-6과 같은 단면을 가진 건물의 경우 측풍의 풍속변화에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

활주로 중앙에서 측정된 후류의 두께는 건물의 높이보다는 건물 단면형상에 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 이러한 결과로 인하여 활주로 중앙에서 측정된 난류강도는 Section-1과 Section-6의 단면을 가진 건물이 가장 작은 난류강도를 가진다.

이와 같이 활주로 주변 시설물의 각 단면마다 발생하는 저압구역의 위치와 크기 그리고 후류의 발생 범위와 높이가 서로 다른 특성을 가지는 것은 시험 비행장에 측풍이 불어올 때 설치된 시설물이 대부분

천이구역에 놓이게 되지만, 건물의 단면 형상의 앞쪽에 fence 계단형상, gap등이 설치되어 있을 경우 이곳을 지나는 유동이 난류로 변하게 되고 공급된 난류에너지에 의해서 최소정압력의 위치나 높이, 그리고 후류의 범위가 변하게 되어 유사한 형상과 높이를 가진 시설물이라 할지라도 서로 다른 ground turbulence가 발생하는 것으로 판단된다.

이상과 같은 결론을 종합해보면 활주로의 주변 시설물이 활주로 방향으로 건설되어 있을 경우 각 시설물의 단면형상에 따라 ground turbulence의 발생 정도가 다르게 나타난다. 따라서 10m/s이상의 측풍이 갑자기 불어오는 경우 항공기가 활주로를 따라 이·착륙할 때 이·착륙 위치마다 각각 다른 ground turbulence를 만날 수 있게 되어 이·착륙 조정안정성에 많은 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 활주로 상에 발생하는 ground turbulence를 감소시킬 수 있는 시설이나 장치를 건물에 설치하여 ground turbulence를 영향을 줄일 수 있다면 중소형 무인항공기나 sport plane과 같은 소형항공기의 이·착륙 안정성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

현재 풍동실험 모델과 2차원 수치해석을 이용하여 ground turbulence를 효과적으로 감소시키는 연구가 진행 중에 있으며, 이에 대한 연구가 끝나면 3차원 수치해석 모델링에 ground turbulence를 최소화시킬 수 있는 장치를 적용하고 실제 비행시험과 비교하는 연구가 계속 진행될 것이다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부 산업원천기술개발사업인 근접감시용 무인항공기 체계종합 및 비행체개발(10016803)의 연구결과입니다.

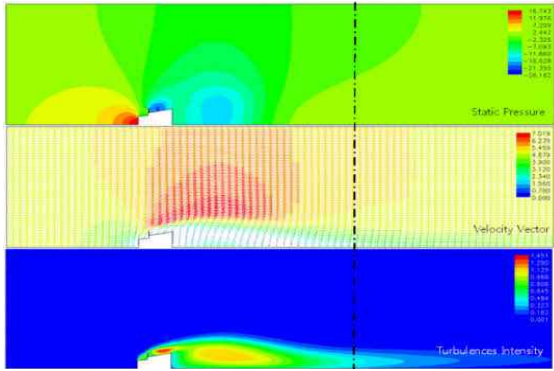


그림 5. Section-1의 수치해석결과(V=5m/s)
Fig.5 Numerical Analysis of Section-1(V=5m/s)

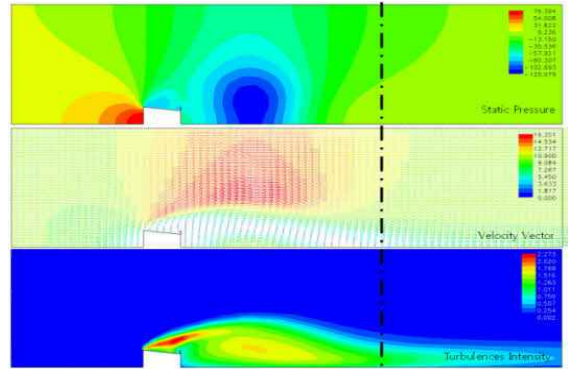


그림 9. Section-2의 수치해석결과(V=10m/s)
Fig.9 Numerical Analysis of Section-2(V=10m/s)

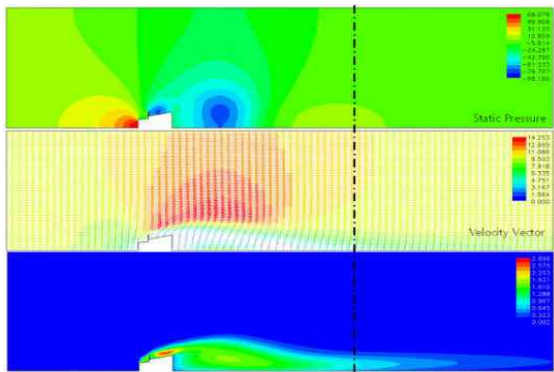


그림 6. Section-1의 수치해석결과(V=10m/s)
Fig.6 Numerical Analysis of Section-1(V=10m/s)

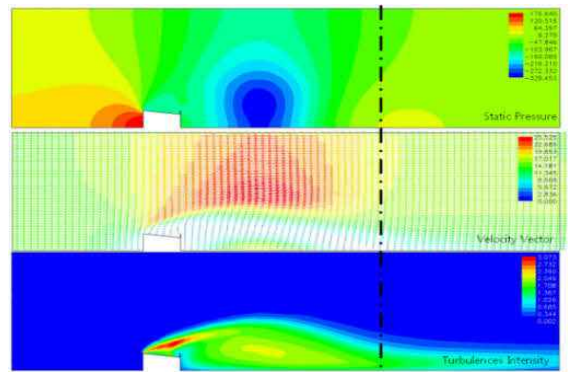


그림 10. Section-2의 수치해석결과(V=15m/s)
Fig.10 Numerical Analysis of Section-2(V=15m/s)

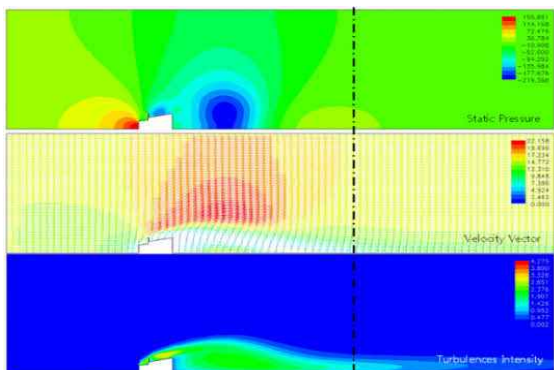


그림 7. Section-1의 수치해석결과(V=15m/s)
Fig.7 Numerical Analysis of Section-1(V=15m/s)

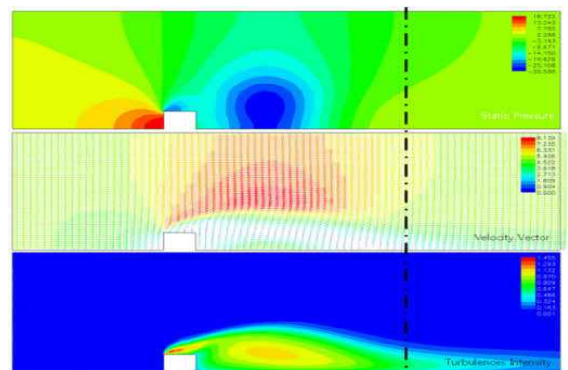


그림 11. Section-3의 수치해석결과(V=5m/s)
Fig.11 Numerical Analysis of Section-3(V=5m/s)

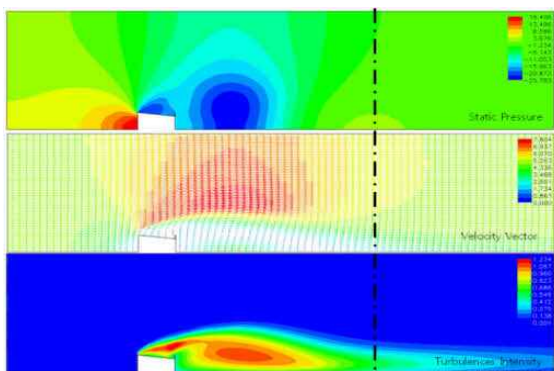


그림 8. Section-2의 수치해석결과(V=5m/s)
Fig.8 Numerical Analysis of Section-2(V=5m/s)

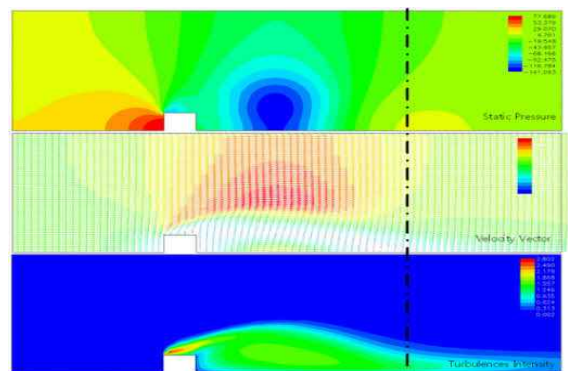


그림 12. Section-3의 수치해석결과(V=10m/s)
Fig.12 Numerical Analysis of Section-3(V=10m/s)

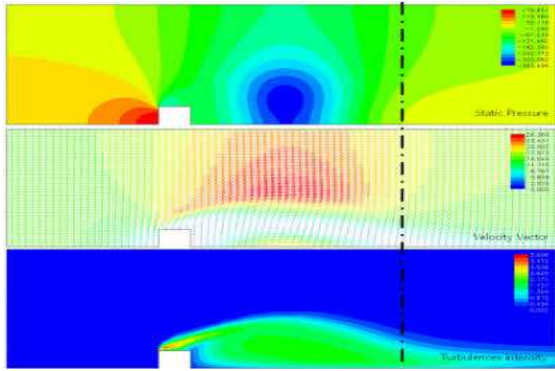


그림 13. Section-3의 수치해석결과(V=15m/s)
Fig.13 Numerical Analysis of Section-3(V=15m/s)

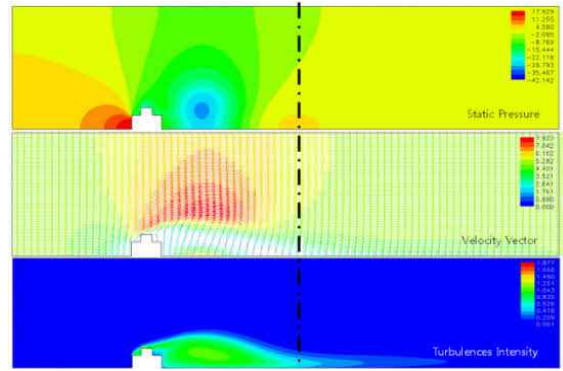


그림 17. Section-5의 수치해석결과(V=5m/s)
Fig.17 Numerical Analysis of Section-5(V=5m/s)

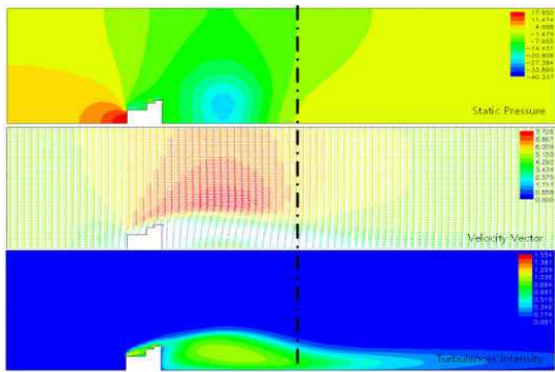


그림 14. Section-4의 수치해석결과(V=5m/s)
Fig.14 Numerical Analysis of Section-4(V=5m/s)

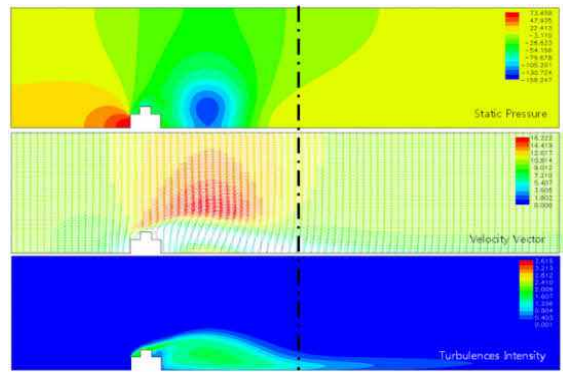


그림 18. Section-5의 수치해석결과(V=10m/s)
Fig.18 Numerical Analysis of Section-5(V=10m/s)

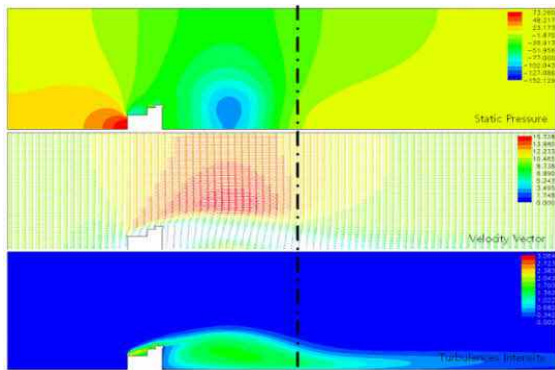


그림 15. Section-4의 수치해석결과(V=10m/s)
Fig.15 Numerical Analysis of Section-4(V=10m/s)

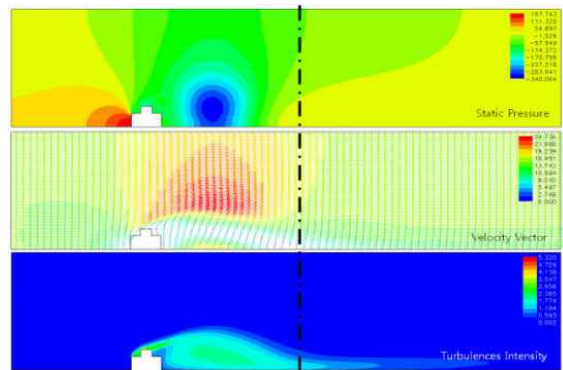


그림 19. Section-5의 수치해석결과(V=15m/s)
Fig.19 Numerical Analysis of Section-5(V=15m/s)

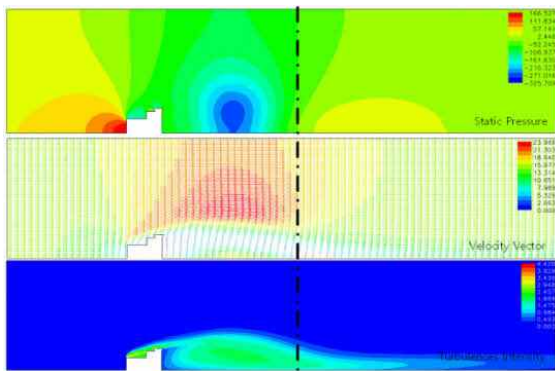


그림 16. Section-4의 수치해석결과(V=15m/s)
Fig.16 Numerical Analysis of Section-4(V=15m/s)

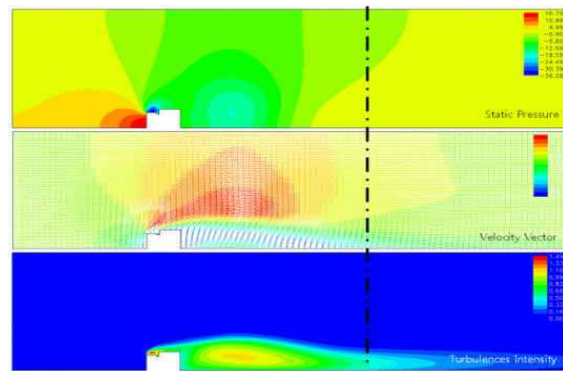


그림 20. Section-6의 수치해석결과(V=5m/s)
Fig.20 Numerical Analysis of Section-6(V=5m/s)

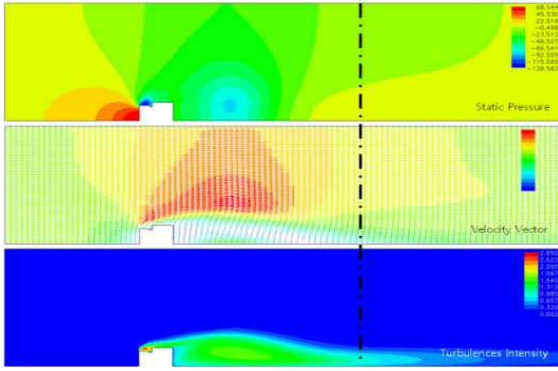


그림 21. Section-6의 수치해석결과(V=10m/s)
Fig.21 Numerical Analysis of Section-6(V=10m/s)

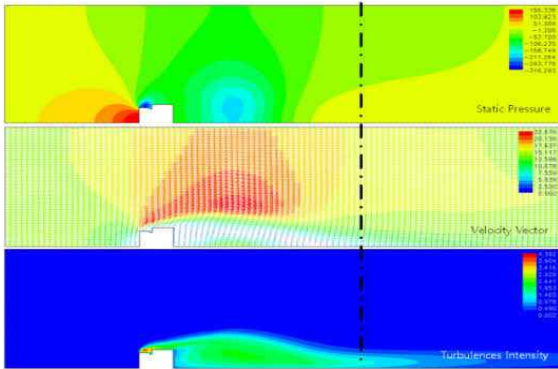


그림 22. Section-6의 수치해석결과(V=15m/s)
Fig.22 Numerical Analysis of Section-6(V=15m/s)

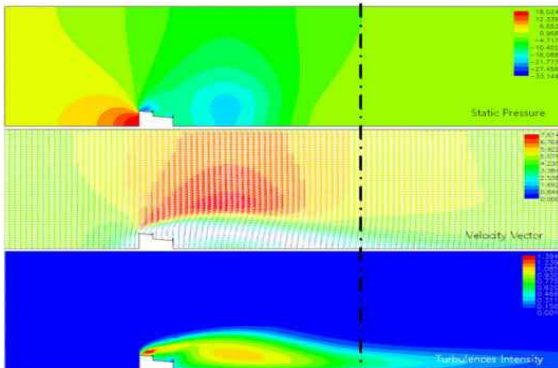


그림 23. Section-7의 수치해석결과(V=5m/s)
Fig.23 Numerical Analysis of Section-7(V=5m/s)

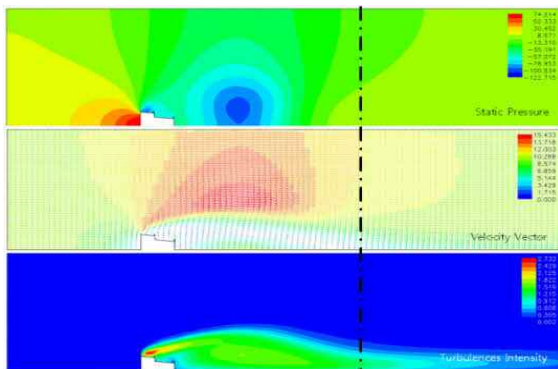


그림 24. Section-7의 수치해석결과(V=10m/s)
Fig.24 Numerical Analysis of Section-7(V=10m/s)

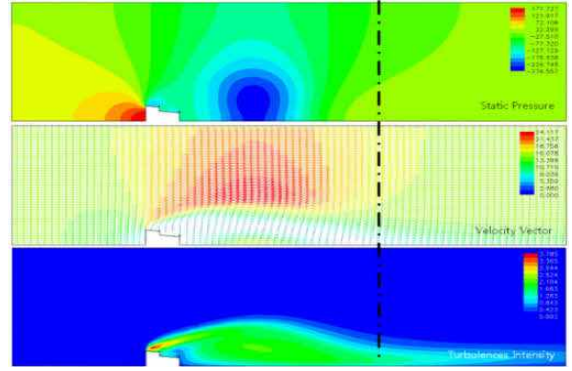


그림 25. Section-7의 수치해석결과(V=15m/s)
Fig.25 Numerical Analysis of Section-7(V=15m/s)

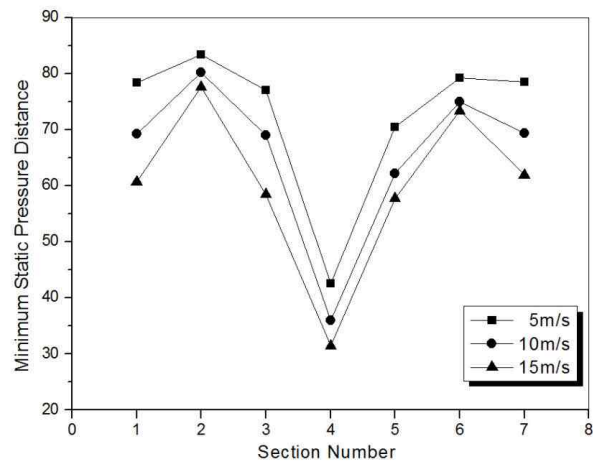


그림 26. 활주로에서 최소 정압의 거리(m)
Fig.26 Distance of Minimum Static Pressure at Runway(m)

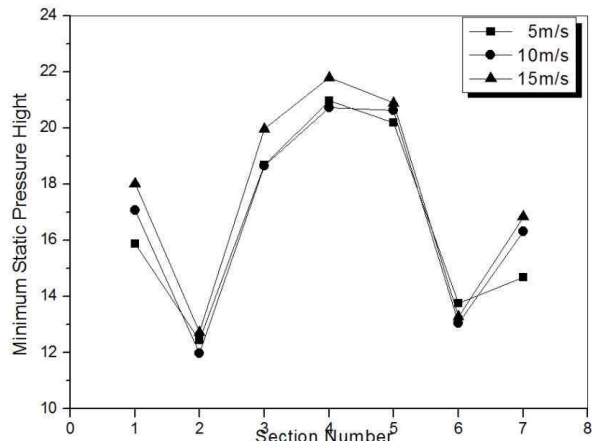


그림 27. 활주로에서 단면별 최소 정압의 높이(m)
Fig. 27 Hight of Minimum Static Pressure at Runway(m)

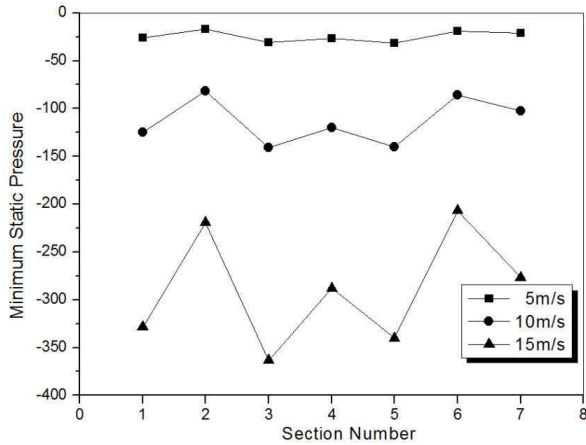


그림 28. 활주로에서 최소 정압의 크기(pascal)
Fig 28 Static Pressure at Runway(pascal)

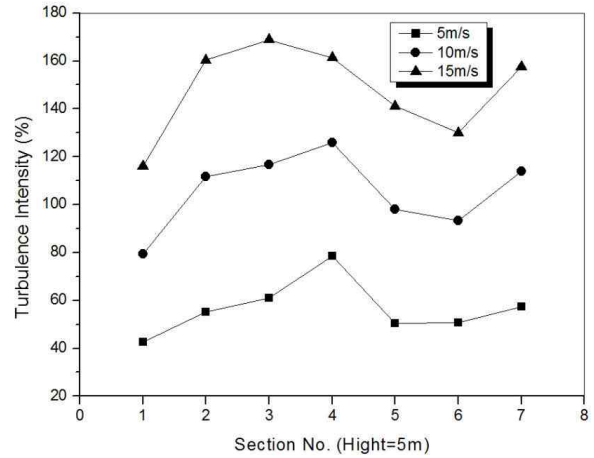


그림 31. 활주로 중앙에서 난류강도(h=5m)
Fig. 31 Turbulence Intensity at Runway(h=5m)

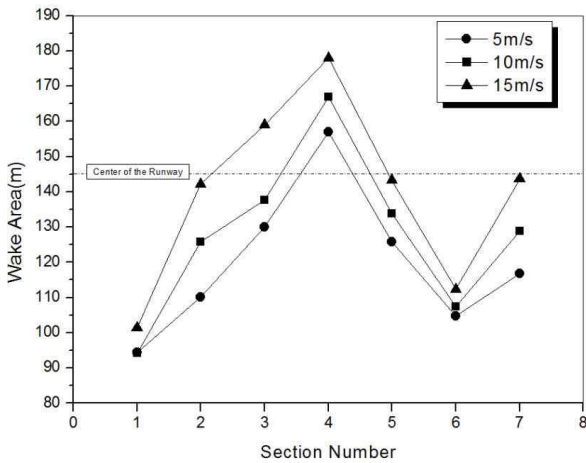


그림 29. 각 단면별 후류영역의 위치(m)
Fig. 29 Wake Region of the Section

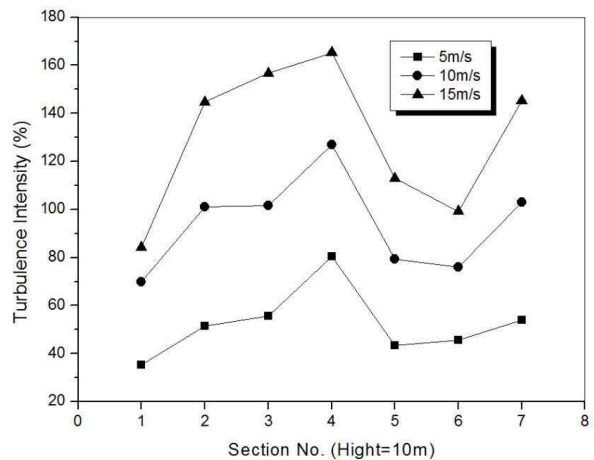


그림 32. 활주로 중앙에서 난류강도(h=10m)
Fig. 32 Turbulence Intensity at Runway(h=10m)

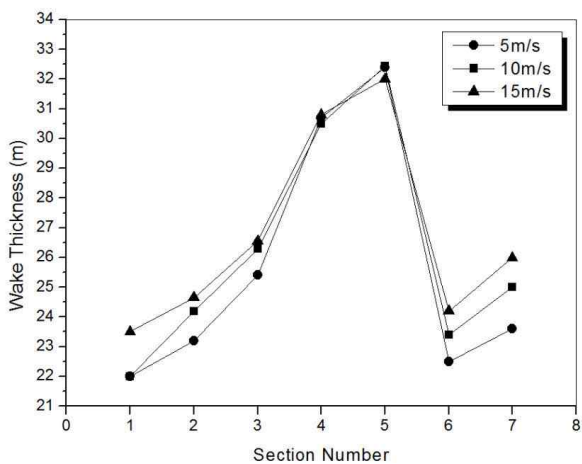


그림 30. 활주로 중앙에서 후류의 두께(m)
Fig. 30 Thickness of Wake at Runway(m)

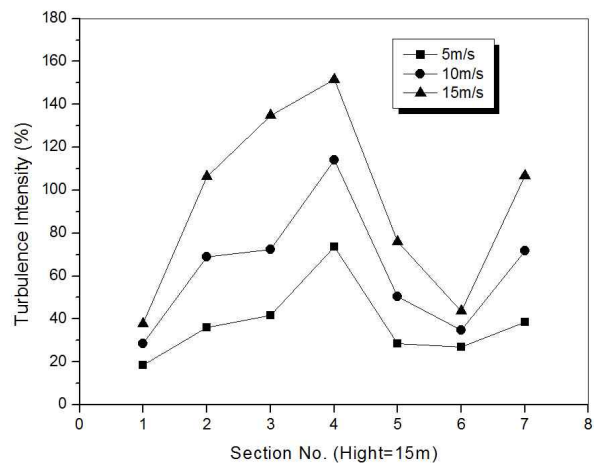


그림 33. 활주로 중앙에서 난류강도(h=15m)
Fig. 33 Turbulence Intensity at Runway(h=15m)

참 고 문 헌

- [1] D. Lenton, "The small screen [TV to Mobile Devices]," *IEE Rev.*, vol. 49, no. 10, pp. 38-41, Oct. 2003.
- [2] Fred H. Proctor and David A. Hinton., "A Windshear Hazard Index", *Preprints of 9th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology* 11-15 September 2000. pp. 482~487
- [3] Fred H. Proctor, "Interaction of Aircraft Wakes from Laterally Space Aircraft", *American Institute of Aeronautics and Astronautics* 092407
- [4] Y.S. Ebrahimi, "Parallel Runway Requirement Analysis Study", *NASA Contractor Report 191549*, Volume 1, December 1993
- [5] P. Douglas Arbuckle, Michael S. Lewis, and David A. Hinton, "Airborne Systems Technology Application of the Windshear Threat", *International Council of the Aeronautical Sciences Paper Number 95-5.7.1*, Sep. 1996
- [6] 홍교영, 신동진, 박수복, "활주로 주변건물을 지나 는 측풍에 의한 이·착륙 항공기의 받음각 감소 에 관한 연구", *한국항공운항학회지*, 제17권 제 2호
- [7] 국토해양부, "비행장시설 설치기준(국토해양부 고시 제2009-346호)", pp.2-2, 2009.
- [8] ICAO, "Doc. 9184-Airport planning manual Part I. Master planning", pp. I-35 - I-37, 2008.
- [9] ICAO, "Annex. 14-Aerodrome Vol. I", pp. 3-1, 2008.
- [10] FLUENT Inc., "FLUENT6 User's Guide Volume 2", pp. 10-15 - 10-16, 2006.

신 동 진(申東辰)



1999년 2월 : 한국항공대학교 항공공학과(박사)
 1999년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 항공기계학과 교수
 2005년 ~ 현재 : 한서대학교 항공기술교육원 원장
 관심분야 : 공기역학, CFD, 비행시험

홍 교 영 (洪敎榮)



1993년 ~ 2001년 대한항공 항공기술연구소 선임연구원
 1999년 8월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(박사)
 2001년 9월~현재 : 한서대학교 항공전자시뮬레이션 학과 교수
 2004년 8월~현재 : 한서대학교 항공기술연구소 소장
 관심분야 : 비행시험, 항공기시스템, 항공통신 등