

재난 변동풍속의 최초파괴확률 평가

오종섭* · 허성제**

Estimate of First-Passage Probability for Hazard Fluctuating Wind Velocity

Jong Seop Oh* and Seong Je Heo**

접수일자: 2013년 8월 31일/심사완료일: 2013년 9월 13일

요약 본 연구에서는 최근 2003년부터 2012년까지의 10년 동안 연최대평균풍속이 발생한 날의 변동풍속으로부터 최초파괴확률(FEP: first excursion probability)을 알아보기 위하여 대표지점 8개 지점을 선정하고, 선정된 각 지점에 대한 최근 10년 동안의 풍속자료는 기상청으로부터 획득했고, 90개의 앙상블 중 정규확률분포로 평가된 12개의 모집단을 선정하여, 최초파괴확률 평가를 실시하였다. 분석결과 FEP의 발생확률은 P모델이 M모델 보다 약 60-200% 크게 나타나는 사실을 알 수 있었고 지표면 10 m에서 실측된 기상청자료의 변동풍속으로부터 지상 320 m까지 추정된 변동풍속의 평균 풍속·난류강도의 수직분포를 확인할 수 있었고, 서울·대구의 경도풍 고도는 약 300 m, 나머지 지점은 약 240-280 m로 나타났고, 지표면부근에서의 난류강도는 0.72 m/s-3.3 m/s로 100 m 높이 까지는 난류강도의 변화율이 증가하는 사실을 확인할 수 있었다.

핵심용어 풍속, 최초파괴확률, 정상, 포아송, 투 스테이트 마야코브

ABSTRACT A dynamic analysis of random vibration processes is concerned with the first excursion probability based on first passage time during some specified lifetime or duration of the excitation. This study is concerned with the estimation of first-passage probability for hazard fluctuate wind velocity in the major cities reflecting the recent meteorological with largest data samples (yearly 2003-2012). The basic wind speeds were standardized homogeneously to the surface roughness category C, and to 10m above the ground surface. In this paper, the hazard fluctuate wind velocities are treated as a time-independent (stationary) random process and Gaussian random processes. The first excursion probability were calculated from Poisson model based on the independent event of level crossing & two-state Markov model based on the envelopes of level crossing.

KEYWORDS wind velocity, first-passage probability, stationary, poisson, two-state markov

1. 서 론

시간과 공간에 따라 변화하는 난류성분의 변동풍하중 즉 태풍과 같은 바람재난으로부터 구조물이나 외장재가 안전과 사용성 측면에서 설계되려면 이러한 변동풍하중에 대한 초과확률의 평가가 필요하다. 변동풍하중과 같은 불규칙하중이 안전범위나 사용성의 범위를 초과하는 순간의 확률을 고려하는 최초초과 파괴(first excursion (passage) failure)와 초과한 하중의 누적에 의한 확률을 고려하는 피

로파괴가 있으며, 이러한 파괴확률이나 비파괴확률은 정상확률과정이나 비정상확률과정에 의해 평가되고 있다.⁷⁾

따라서 본 논문에서는 최근 2003년부터 2012년까지의 10년 동안 연최대평균풍속이 발생한 날의 변동 풍속으로부터 first excursion probability (이하 FEP) 을 알아 보기 위하여 대표지점(8개 지점)을 여수, 인천, 서울, 청주, 원주, 대구, 속초, 울릉도로 선정했다. 선정된 각 지점에 대한 최근 10년 동안의 풍속자료는 기상청으로부터 획득했다. 각 지점의 획득한 풍속자료는 우리나라를 직접 통과하면서 영향을 미친 태풍과 통과는 안했지만 간접 영향을 미친 태풍, 연최대순간풍속과 연최대평균풍속이 같은 날

*한려대학교 건축공학과, 교수(E-mail: singletennis@hanmail.net)

**한려대학교 건축공학과, 교수

등을 고려 90개의 양상블 중 기 연구결과에 의해서 정규 확률분포로 평가된 12개의 모집단을 선정했다. 우리나라의 구조기준에서는 10분 평균풍속 자료를 이용하고 있는데, 기상청으로부터 획득한 자료는 년최대평균풍속이 발생한 날의 1분 평균 풍속자료만 존재하여 본 논문에서는 이 풍속자료를 10분 풍속으로 환산하여 각 12개의 모집단은 1442 표본으로 환산하여 이용했고, 기상청으로부터 획득한 년최대평균풍속이 발생한 날의 변동풍속은 지상으로부터 10 m에서 관측되었는데 이를 기초로 각 지점의 높이에 따른 평균풍속의 수직분포, 난류강도를 추정하였고, 이로부터 각 지점의 위치에 따른 FEP를 해석해 비교 검토하였다.

2. 변동풍속의 수직분포 및 난류강도

2.1 자료의 균질화

기상관측소에서 측정된 풍속은 지형, 지표면조도, 풍속계 높이 등의 영향에 따라 다르기 때문에 이러한 풍속을 비교분석하기 위해서는 일반적으로 다음과 같이 균질화한 풍속을 이용 한다.¹¹⁾

$$V_{c10} = V_c(h)(10/h)^{1/\alpha} \tag{1}$$

$$V_{c10} = V(h)(10/300)^{1/\alpha} (Z_g/h)^{1/\alpha'} \tag{2}$$

(1), (2)식에서 $V(h)$: h 에서의 풍속, h : 풍속계 높이, Z_g : 풍속측정 지표면조도에서의 경도풍고도, α : C의 고도분포지수, α' : $V(h)$ 의 고도분포 지수를 나타낸다. 본 논문의 해석을 위해 선정한 8개 지역에서의 풍속계 높이와 지표면 조도는 표 1과 같다.

2.2 평균풍속 수직분포

대기의 운동은 여러 요인에 의해 영향을 받게 되는데, 지표면으로부터 높이에 따라 풍속은 증가하고, 일정한 높이에서는 풍속의 변화가 없는데 이를 경도풍고도와 경도풍이라 하고, 일반적으로 내풍설계 시 지표면 조도변화에 따른 평균풍속의 수직분포는 경험식인 지수법칙이 이용되고 있으며, 다음 식 (3)과 같이 나타내고, 본 논문에서는 10 m에서 측정된 기상청 자료의 변동풍속과 식 (3)을 이용하여 수직분포를 추정했다.^{2,6,11)}

$$V_h = V_{10}(h/10)^\alpha \tag{3}$$

식 (3)에서 V_h , V_{10} 은 각각 h ·10 m 높이에서의 평균풍속을 나타내고, α 는 고도분포 지수 이다.

본 논문에서 이용한 각 지점의 풍속특성은 표 2와 같고, 표 3과 그림 1에서는 각 지점의 평균풍속의 수직분포를 나타내고 있다.

표 1. 조도 및 풍속계 높이(z)

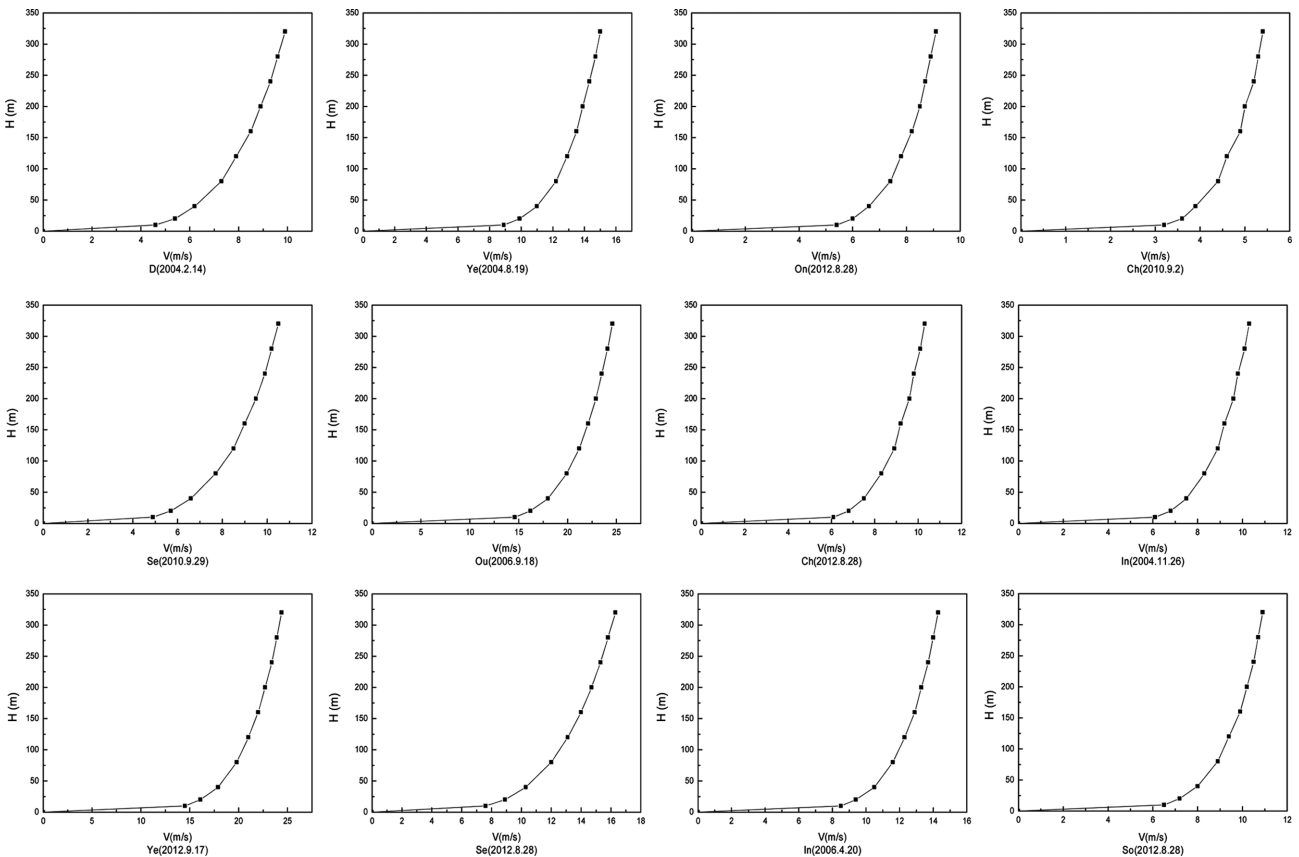
	인천	서울	청주	여수	원주	대구	속초	울릉도
조도	C	B	C	C	C	B	C	C
Z	10	10	10	10	10	10	10	10

표 2. 각 지점 풍속(m/s) 특성

지점	풍속특성	10 m 관측치			320 m 추정치		
		v_{max}	\bar{v}	σ_v	v_{max}	\bar{v}	σ_v
인천	2004. 11. 26	17.6	6.1	3.3	29.6	10.3	5.5
	2006. 04. 20	16.5	8.5	2.1	27.7	14.3	3.5
서울	2010. 09. 02	16.0	4.9	2.8	34.3	10.5	6.0
	2012. 08. 28	15.9	7.6	2.3	34.1	16.3	4.9
청주	2010. 09. 02	8.20	3.2	1.7	13.8	5.40	2.9
	2012. 08. 28	12.5	6.1	2.0	21.0	10.3	3.4
여수	2004. 08. 19	22.5	8.9	4.8	37.8	15.0	8.1
	2012. 09. 17	30.8	14.5	6.2	51.8	24.4	10.4
원주	2012. 08. 28	12.5	5.4	2.1	21.0	9.10	3.5
대구	2004. 02. 14	11.6	4.6	2.8	24.9	9.90	6.0
속초	2012. 08. 28	17.3	6.5	3.5	29.1	10.9	5.9
울릉도	2006. 09. 18	31.5	14.6	5.7	53.0	24.6	9.6

표 3. 각 지점 평균풍속 수직분포

H	지점	서울			속초	여수		울도	원주	인천		청주	
	대구	2004	2010	2012	2012	2004	2012	2006	2012	2004	2006	2010	2012
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10		4.6	4.9	7.6	6.5	8.9	14.5	14.6	5.4	6.1	8.5	3.2	6.1
20		5.4	5.7	8.9	7.2	9.9	16.1	16.2	6.0	6.8	9.4	3.6	6.8
40		6.2	6.6	10.3	8.0	11	17.9	18	6.6	7.5	10.5	3.9	7.5
80		7.3	7.7	12	8.9	12.2	19.8	19.9	7.4	8.3	11.6	4.4	8.3
120		7.9	8.5	13.1	9.4	12.9	21.0	21.2	7.8	8.9	12.3	4.6	8.9
160		8.5	9.0	14	9.9	13.5	22.0	22.1	8.2	9.2	12.9	4.9	9.2
200		8.9	9.5	14.7	10.2	13.9	22.7	22.9	8.5	9.6	13.3	5.0	9.6
240		9.3	9.9	15.3	10.5	14.3	23.4	23.5	8.7	9.8	13.7	5.2	9.8
280		9.6	10.2	15.8	10.7	14.7	23.9	24.1	8.9	10.1	14.0	5.3	10.1
320		9.9	10.5	16.3	10.9	15	24.4	24.6	9.1	10.3	14.3	5.4	10.3



In(인천), Se(서울), Ye(여수), Ou(울릉도), Ch(청주), On(원주), D(대구), So(속초)

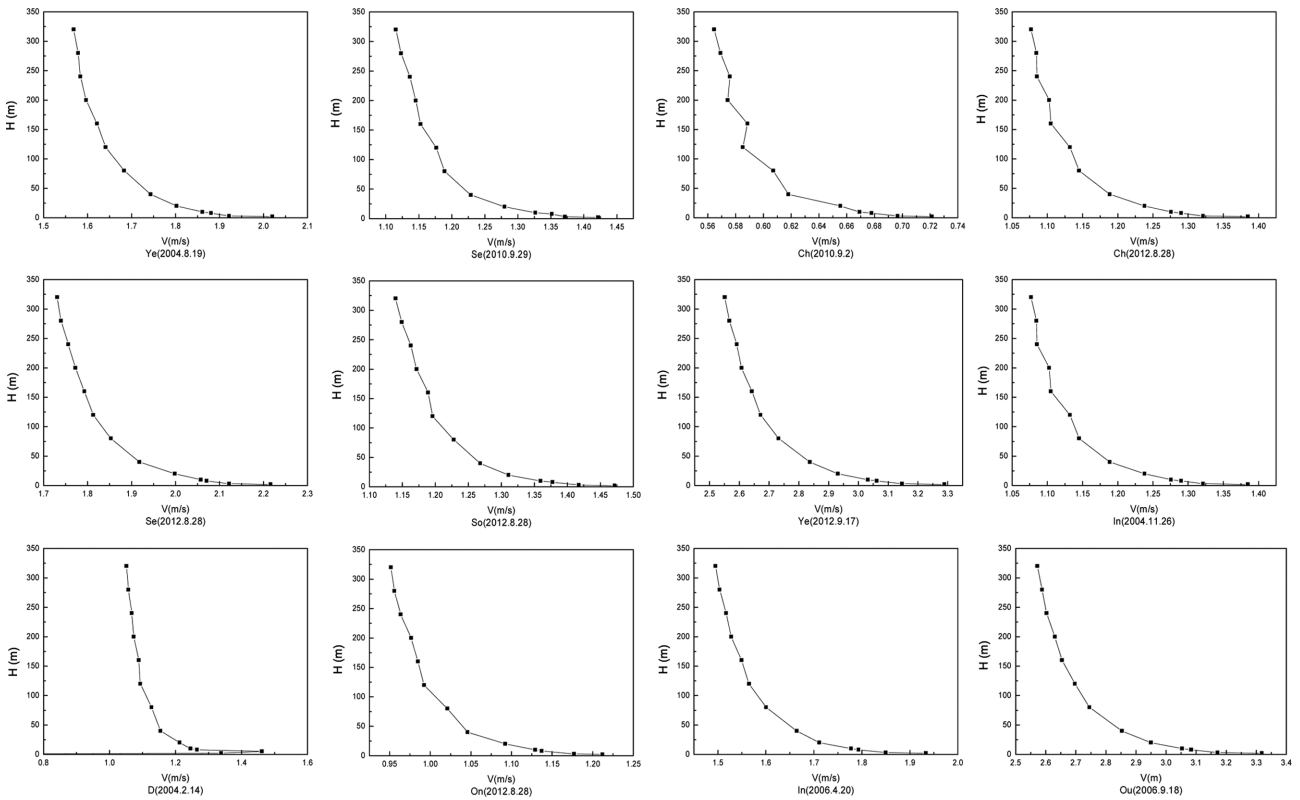
그림 1. 추정된 평균풍속의 수직분포

2.3 난류강도의 수직분포

난류는 풍속의 흐름에서 변동성분을 의미하는데, 일반적으로 난류강도는 지표면 부근에서는 지표면 조도의 영향에 의해 증가하나 높이가 증가할수록 지표면의 영향이 적어 난류강도는 감소하는 것으로 알려져 있으며, 근사적으로 난류의 상대적 강도의 크기로서 식 (4)와 같이 나타낸다.^{2,6,11)}

$$I_h = \frac{v_h}{\bar{V}_h} = 0.1 \left(\frac{h}{Z_g} \right)^{-\alpha - 0.05} \tag{4}$$

여기서 v_h , \bar{V}_h 각각 변동성분과 평균풍속을 나타내고, 각 지점의 높이에 따른 변동성분의 난류강도에 대한 수직분포는 그림 2에서 나타내고 있다.



In(인천), Se(서울), Ye(여수), Ou(울릉도), Ch(청주), On(원주), D(대구), So(속초)

그림 2. 추정된 난류강도의 수직분포

3. 최초파괴확률(FEP)

3.1 레벨 크로싱

시간과 공간에 따라 변화하는 연속적인 불규칙확률 과정 즉 변동풍속의 시간이력 $f(t)$ 가 임계진폭(l-level) $f(t)=\alpha$ 와 교차하는 up-down-crossing 현상을 나타내는 모집단의 한 표본함수는 그림 3과 같고, 점선은 교차점과 시간을 나타낸다.^{3,13)}

그림 3의 불규칙확률과정의 변동풍속 $f(t)$ 가 임의점 $f(t)$ 와 $f(t+dt)$ 사이의 미소 구간에서 업-크로싱이 발생하는 과정의 표본함수는 그림 4와 같이 나타낼 수 있다.

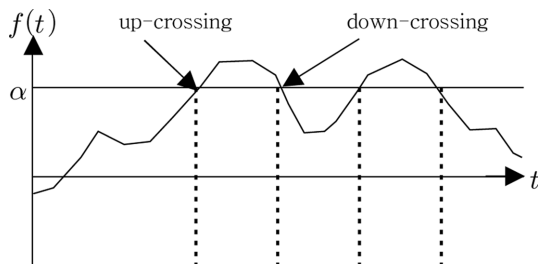


그림 3. 레벨 $f(t)=\alpha$ 의 크로싱

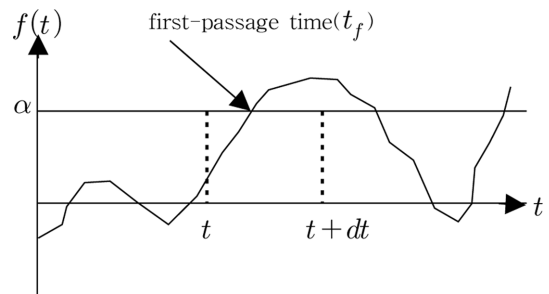


그림 4. 미소구간 업-크로싱 조건

그림 4에서 업-크로싱이 발생하기 위한 조건은 다음 식 (5)와 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 & f(t) < \alpha \\
 & f(t+dt) > \alpha \\
 & f(t+dt) = f(t) + \dot{f}(t)dt, \dot{f}(t) > 0
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

식 (5)의 조건을 만족하는 크로싱 확률 $N^+(\alpha,t)dt$ 와 적분의 평균값정리로부터 t 시간에 발생하는 업-크로싱의 확률밀도함수는 다음 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$N^+(\alpha, t)dt = [(f(t) < \alpha) \cap (\dot{f}(t) > \alpha - f(t))] \\ = \int_0^\infty d\dot{f} \int_{\alpha - \dot{f}t}^\alpha p(f, \dot{f}, t) df \quad (6)$$

$$\int_{\alpha - \dot{f}t}^\alpha p(f, \dot{f}, t) df = dt \dot{f} p(\alpha, \dot{f}, t) \quad (7)$$

$$N^+(\alpha, t) = \int_0^\infty \dot{f} p(\alpha, \dot{f}, t) d\dot{f} \quad (8)$$

식 (8)과 다운-크로싱으로부터 t 시간에 레벨 크로싱의 확률밀도는 $N(\alpha, t) = N^+(\alpha, t) + N^-(\alpha, t)$ 로 나타낼 수 있고, $N(\alpha, t)$ 는 레벨 α 에서 크로싱의 기대율을 나타내므로 총 작용 시간 T 에서의 기대되는 크로싱의 수는 다음 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$N(\alpha; T) = \int_{t_0}^{t_0+T} N(\alpha, t) dt \quad (9)$$

$f(t)$ 를 정상확률과정으로 가정하면 식 (8-9)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N(\alpha) = \int_{-\infty}^\infty |\dot{f}| p(\alpha, \dot{f}) d\dot{f} \quad (10)$$

$$N(\alpha; T) = N(\alpha)T \quad (11)$$

식 (10)에서 α 가 높아 크로싱이 서로 독립하면 결합확률 밀도함수는 $p(\alpha, \dot{f}) = p(\alpha)p(\dot{f})$ 이 되고, $f(t)$ 가 평균 0인 정상정규확률과정이라면 식 (8)로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.^{3,7,8,9,10,13)}

$$N^+(\alpha) = N^-(\alpha) = \frac{1}{2\pi} \frac{\sigma_{\dot{f}}}{\sigma_f} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\sigma_f^2}\right) \quad (12)$$

$$N^+(\alpha=0) = N^-(\alpha=0) = \frac{1}{2\pi} \frac{\sigma_{\dot{f}}}{\sigma_f} \quad (13)$$

$$N^+(\alpha) = N^-(\alpha) = N^\pm(0) \exp\left(-\frac{\eta^2}{2}\right), \quad \eta = \frac{\alpha}{\sigma_f} \quad (14)$$

식 (12-14)의 함수는 각각 변동풍속 $f(t) \cdot \dot{f}(t)$ 의 표준편차 σ_p, σ_f 로 나타내고 있으며, 이 값들은 불규칙진동이론에 의해 이론적으로 자기상관함수·psd(power spectral density)·적분·RMS로부터 얻을 수 있지만, 본 논문에서는 실측된 변동풍속 자료의 통계적방법과 면적 미분을 이용해 구했다.

3.2 최초파괴확률

변동풍속 $f(t)$ 가 최초로 임의 레벨 α 와 크로싱이 일어나는 표본함수는 그림 4와 같이 생각할 수 있다. 본 논문과 연

관된 일련의 연구결과에 의하면 년최대평균풍속이 발생한 날의 변동풍속의 시간이력은 98%이상 비정상확률과정으로 나타나는 사실을 확인할 수 있었는데, Davenport (1961, 1962) 이 후 50년 동안 내풍설계에서 정상확률과정으로 가정했으나 최근 들어서는 비정상확률과정을 고려한 연구들이 진행되고도 있지만, 본 논문에서는 FEP에 대한 선행적 연구로서 해석의 간편성을 위하여 먼저 연최대 평균풍속이 발생한 날의 변동풍속의 시간이력을 정상확률과정으로 가정했다.

레벨 $f(t)=\alpha$ 가 충분히 높다면 레벨 크로싱은 드문 사상으로 가정할 수 있고, 이러한 크로싱은 독립적 사상으로 가정할 수 있다. 이 때 $N(t)$ 를 시간 간격 $(0, t]$ 에서 α 과 업-크로싱의 수를 나타내고, $(0, t]$ 에서 n 번의 업-크로싱 확률은 다음 식 (15)과 같이 Poisson 과정으로 가정할 수 있다.^{7,12)}

$$P(n, t) = \frac{(vt)^n}{n!} \exp(-vt) \quad (15)$$

여기서 $v=N_f^+(\alpha)$: 단위시간당 발생 횟수

식 (15)로부터 $(0, t]$ 에서 크로싱이 일어나지 않을 확률과 한 번 업-크로싱이 일어날 확률은 각각 식 (16-17)으로 나타낼 수 있다.

$$L_{T_f}(t) = P[T_f > t] = P(0, t) = \exp(-vt) \quad (16)$$

$$F_{T_f}(t) = 1 - P(0, t) = 1 - \exp(-vt) \quad (17)$$

Vanmarcke는 Two-State Markov 크로싱을 가정하여 Envelopes과정의 spectral density shape factor k 와 spectral parameter q 를 이용하여 각각 다음과 같이 나타내고 있다.^{7,12,13)}

$$L_{T_f}(t) = P_o \exp(-vt), \quad t > 0 \quad (18)$$

$$F_{T_f}(t) = 1 - P_o \exp(-vt), \quad t > 0 \quad (19)$$

여기서 $P_o = 1 - \exp\left(-\frac{\eta^2}{2}\right)$

$$v = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{\dot{f}}}{\sigma_f} \frac{1 - \exp(-k\eta)}{\exp(\eta^2/2) - 1}$$

$$\eta = \alpha/\sigma_f, \quad k = \sqrt{2\pi}q, \quad 0 \leq q \leq 1$$

실측된 변동풍속을 지수법칙으로 높이에 따라 추정된 변동풍속의 시간이력과 식 (17), (19)을 이용하여 각각 Poisson 과정(이하 P모델)과 Two-State Markov과정(이하 M모델)의

표 4. $f(t) \cdot \dot{f}(t)$ 의 표준편차 $\sigma_f, \sigma_{\dot{f}}$

지점 \ H	160 m		200 m		240 m		280 m		320 m	
	σ_f	$\sigma_{\dot{f}}$	σ_f	$\sigma_{\dot{f}}$	σ_f	$\sigma_{\dot{f}}$	σ_f	$\sigma_{\dot{f}}$	σ_f	$\sigma_{\dot{f}}$
대구2004	5.06	1.37	5.31	1.44	5.54	1.51	5.72	1.55	5.89	1.60
서울2010	5.19	1.23	5.45	1.30	5.68	1.35	5.87	1.40	6.05	1.44
서울2012	4.14	1.91	4.35	2.01	4.52	2.08	4.69	2.16	4.83	2.23
속초2012	5.31	0.81	5.49	0.84	5.65	0.86	5.78	0.88	5.90	0.90
여수2004	7.21	1.23	7.45	1.28	7.66	1.31	7.84	1.34	8.00	1.37
여수2012	9.44	2.05	9.76	2.12	10.03	2.18	10.26	2.23	10.47	2.28
울릉2006	8.62	2.41	8.91	2.49	9.16	2.55	9.37	2.61	9.56	2.67
원주2012	3.17	1.47	3.28	1.52	3.37	1.56	3.45	1.60	3.52	1.63
인천2004	5.10	1.09	5.20	1.13	5.40	1.16	5.50	1.19	5.60	1.21
인천2006	3.20	1.22	3.30	1.26	3.40	1.29	3.40	1.32	3.50	1.35
청주2010	2.50	0.76	2.60	0.79	2.70	0.81	2.80	0.83	2.80	0.84
청주2012	3.03	1.30	3.13	1.34	3.22	1.38	3.30	1.41	3.36	1.44

표 5. Two-State Markov 과정의 FEP($t=5$ min)

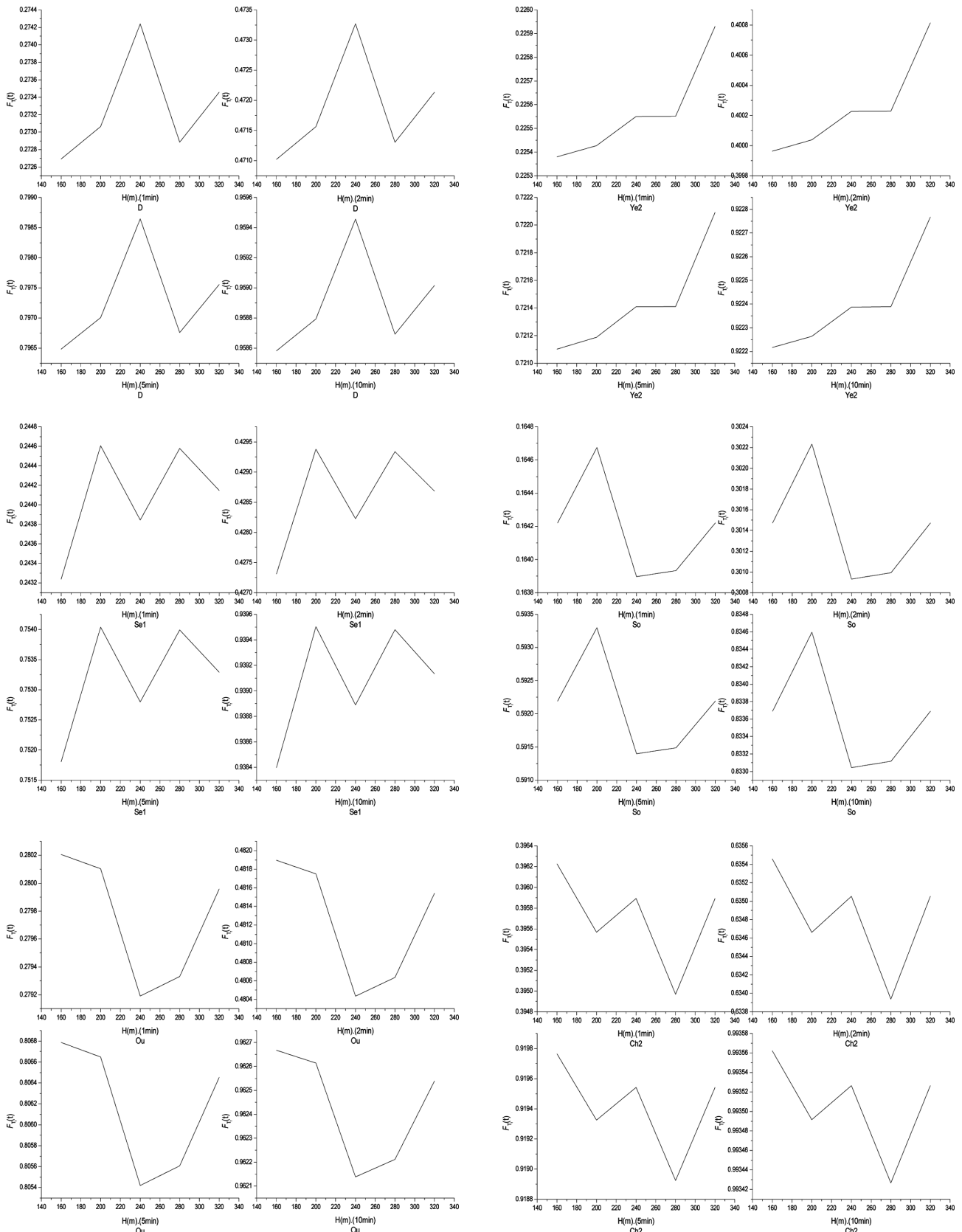
지점 \ H	160 m	200 m	240 m	280 m	320 m
대구2004	0.221707	0.221839	0.222255	0.221776	0.221978
서울2010	0.205932	0.206371	0.206126	0.206362	0.206224
서울2012	0.267446	0.267634	0.267136	0.267235	0.267536
속초2012	0.181462	0.181598	0.181365	0.181376	0.181462
여수2004	0.186756	0.187111	0.186879	0.18685	0.186947
여수2012	0.200252	0.200267	0.200305	0.200306	0.200425
울릉2006	0.217993	0.217959	0.217656	0.217702	0.217911
원주2012	0.268069	0.267988	0.267855	0.268081	0.267897
인천2004	0.199264	0.200294	0.199577	0.200023	0.199939
인천2006	0.24605	0.246204	0.245552	0.247941	0.247259
청주2010	0.224825	0.224783	0.22371	0.222713	0.22371
청주2012	0.25889	0.258643	0.258764	0.258418	0.258764

표 6. Two-State Markov 과정의 FEP($t=10$ min)

지점 \ H	160 m	200 m	240 m	280 m	320 m
대구2004	0.299451	0.299688	0.300437	0.299575	0.299939
서울2010	0.270765	0.27157	0.271122	0.271554	0.2713
서울2012	0.379371	0.37969	0.378846	0.379015	0.379525
속초2012	0.225128	0.225385	0.224944	0.224964	0.225128
여수2004	0.235118	0.235786	0.23535	0.235295	0.235477
여수2012	0.260294	0.260322	0.260394	0.260394	0.260616
울릉도2006	0.292749	0.292688	0.29214	0.292223	0.2926
원주2012	0.380427	0.38029	0.380064	0.380447	0.380136
인천2004	0.258466	0.260372	0.259046	0.25987	0.259715
인천2006	0.342589	0.342857	0.34172	0.345882	0.344695
청주2010	0.305054	0.304977	0.303053	0.301261	0.303053
청주2012	0.364789	0.364365	0.364574	0.36398	0.364574

FEP을 작용시간과 높이 따라 구한 해석결과의 일부를 그림 5와 표 4-6에서 나타냈다. 해석과정에서 레벨 $\alpha=2\sigma_f$,

스펙트럴 모수 $q=1$ 로 가정했고, 높이는 160·200·240·280·320 m, 시간은 1·2·5·10분으로 했다.



In(인천), Se(서울), Ye(여수), Ou(울릉도), Ch(청주), On(원주), D(대구), So(속초)

그림 5. 추정된 변동풍속의 FEP(Poisson 과정)

4. 해석결과 고찰

그림 1에서는 각 지점의 10 m에서 실측된 변동풍속으로부터 지표면 높이에 따른 추정된 평균풍속 수직분포를 나타내고 있는데, 이로부터 변동풍속은 지표면 부근에서는 조도의 영향에 의해 풍속이 감소하고 지표면 높이가 증가할수록 조도의 영향 적어 풍속이 증가하는 사실을 확인할 수 있다. 각 지점의 경도풍 고도는 지표면조도 B지역인 서울·대구는 약 300 m 이고, C지역의 나머지 지점은 약 240-280 m 라는 사실을 확인할 수 있다. 그림 2에서는 난류강도의 수직분포를 나타내고 있는데, 이로부터 난류강도는 지표면부근에서는 조도의 영향으로 증가하고, 지표면의 높이가 증가할수록 감소하는 사실을 확인할 수 있으며, 난류강도의 변동풍속은 지표면부근에서는 0.72 m/s-3.3 m/s로 분포하는 사실을 확인할 수 있고, 지표면으로부터 100 m 높이 까지는 난류강도의 변화율이 증가하나 약 100-150 m 이후부터는 난류강도의 변화율이 감소하면서 수직 분포하는 사실을 확인할 수 있다.

지표면 높이에 따른 변동풍속 $f(t)$ 의 FEP 해석은 식(17-19)으로부터 구해지는데, 이 식들의 함수는 단지 $f(t)$, $\dot{f}(t)$ 의 표준편차 $\sigma(t)$, $\dot{\sigma}(t)$ 로 표 4에서 나타내고 있다. 그림 5와 표 5-6에서는 각각 P모델과 M모델에 의한 FEP 해석결과를 높이 160-320 m와 시간 1-10분에 대해 나타내고 있다. FEP의 발생확률은 P모델이 M모델 보다 약 60-200% 크게 나타나는 사실을 알 수 있는데, 이는 P모델은 레벨 크로싱을 독립사상으로 가정해 각각의 peaks를 고려하지만 M모델의 함수에서는 각각의 peaks를 연결하는 Envelopes 과정을 고려하기 때문에 독립사상 보다 peaks가 증가하여 레벨 크로싱의 발생 가능성이 감소하기 때문이라 생각된다. 시간에 따른 FEP 해석결과는 시간이 경과할수록 FEP의 발생 가능성이 증가하는 사실을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 최근 2003년-2012년의 10년 동안 연최대평균풍속이 발생한 날의 변동풍속으로부터 평균풍속의 수직분포, 난류강도의 수직분포, P·M모델의 FEP을 알아보기 위하여 대표지점으로 여수, 인천, 서울, 청주, 원주, 대구, 속초, 울릉도를 선정했다. 선정된 각 지점의 풍속자료는 기상청으로부터 획득했다. 기상청으로부터 획득한 90개 양상블 중에서 정규 확률 분포를 하는 12개의 모집단을 이용했다. 해석결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을

수 있었다.

1. 지표면 10 m에서 실측된 기상청자료의 변동풍속으로부터 지상 320 m까지 추정된 변동풍속의 평균 풍속·난류강도의 수직분포를 확인할 수 있었고, 서울·대구의 경도풍 고도는 약 300 m, 나머지 지점은 약 240-280 m로 나타났고, 지표면부근에서의 난류강도는 0.72 m/s-3.3 m/s로 100 m높이 까지는 난류강도의 변화율이 증가하는 사실을 확인할 수 있다.

2. FEP의 발생확률은 P모델이 M모델 보다 약 60-200% 크게 나타나는 사실을 알 수 있는데, 이는 M모델의 함수에서는 Envelopes과정의 peaks를 고려해 레벨 크로싱의 발생 가능성이 감소하기 때문이라 생각된다.

3. 앞선 연구에서 실측된 기상청 자료의 변동풍속은 98%가 비정상 확률과정, 90%가 비정규 확률분포로 나타나는 사실을 확인할 수 있었지만, 본 논문은 FEP와 관련한 선행적 연구과정으로서 해석의 간편성을 위하여 실측된 기상청자료와 높이에 따른 추정된 변동풍속을 정상확률과정·정규확률분포로 가정했으며, 레벨도 $f(t)=\alpha=2\sigma_t$ 만을 고려했다. 따라서 보다 실질적인 연구를 위해서 비정상·비정규확률과정, 다양한 레벨, 높이에 따른 변동풍속의 불규칙성 등을 고려한 연구가 필요하다고 생각한다.

참고문헌

1. 기상청 (2013), 기상자원과 기상자료제공(2003-2012).
2. 대한건축학회 (2001), 풍하중 해설 및 설계.
3. Ang and Tang (2007), Probability Concepts in Engineering, 2nd Ed., Wiley, pp.81~150.
4. Davenport, A. G. (1961), The appli. of stati. concepts to the wind loading of str., Pro., ICE, 19(8), pp.449~472.
5. Davenport, A. G. (1962), The response of slender, line-like structures to a gusty wind, Pro., ICE, 23, pp.389~408.
6. Henry Liu (1991), Wind Engi., Prentice Hall, p41-68.
7. Nigam, N. C. (1983), Intro. to Random Vib., MIT, pp.107~144.
8. Nigam, N. C. (1994), Appl. of Random Vib., NPH, pp364~406.
9. Papoulis, A., et ai. (2002), Probability, Random Variables & Stochastic Processes, McGraw Hill, pp.123~168.
10. Rice, S. O. (1945), Mathematical analysis of random noise, Bell Tech., 18, pp.282~332, 1944, and 19, pp.46~156.
11. Simiu, E. (1996), Wind Effects on Str., J. W. & Sons, pp.33~90.
12. Vanmarcke, E. H. (1975), On the distr. of the fp time for normal stati. random proc., J. App. Mech., 42, pp.215~220.
13. Wirsching, P.H., et al. (1995), Random Vibrations theory & practice, Wiley, pp.146~173.