

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 44(3), 195-202(2016)

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2016.44.3.195

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

가오리연의 매듭에 대한 수치해석 연구

사종엽*

Numerical Analysis on the Tow Point of Gaori Kite

Jong-Youb Sah*

Dept. of Mechanical Engineering, Yeungnam Univ

ABSTRACT

There is two popular kites, Bangpae and Gaori. While the Bangpae kite is being widely loved by experts, the Gaori kite is popular for kids and beginners. Three types of Gaori kite product have been surveyed on the tow point. The aerodynamic force on Gaori kite is numerically calculated by using Fluent. Through flight simulations at the tow point of each kite type, the new tow point, at which the required minimum velocity is lower than those of existing tow points, has been proposed as a standard. The required minimum velocity is the threshold wind velocity at which the kite begins to fly.

초 록

대중적인 연에는 방패연과 가오리연 두 종류가 있다. 방패연은 전문가들에게 널리 사랑 받고 있는 반면, 초보자들에게는 가오리연이 더 익숙하다. 가오리연의 세 종류의 제품들에 대하여 목줄의 매듭을 조사하였다. 가오리 연에 작용하는 공기역학적 힘들을 Fluent를 사용하여 수치적으로 계산하였다. 각 종류의 매듭에 대한 비행 시뮬레이션을 수행함으로써, 기존보다 최소요구풍속이 더 낮은 새로운 매듭을 제안하였다. 최소요구풍속은 연이 날기 시작하는 한계 풍속이다.

Key Words : Kite(연), Gaori-kite(가오리연), Tow Point(매듭)

1. 서 론

한국의 대중적인 연은 가오리연과 방패연 두 가지가 있다. 가오리연은 누구나 만들어 날리는 대중적인 연으로써, 방패연은 전문가들이 만들어 날리는 전통연으로써, 널리 사랑받고 있다. 우리나라의 연에 대한 연구는 문화적 또는 역사적 관점[1-2]에서 또는 디자인 관점[3-4]에서 주로 연구 되어 왔다. 우리나라의 전통연에 대한 공학적 연

구는 이선우[5-6]에 의하여 방패연의 유동가시화와 풍동실험이 수행되었으며, 강치행[7-9]도 방패연에 대한 풍동 실험을 수행하였다. 이처럼 한국의 연에 대한 연구는 전통연의 과학적 근거를 찾기 위하여 방패연에 초점을 맞추어 연구가 이루어져 왔으며, 가오리연은 연구 대상에서 제외되어 왔다. 최근에는 해외에서 스포츠연을 이용한 취미활동[10]이 활발해지고 연의 풍력발전이나 선박운송과 같은 산업적 이용[11]에 대한 관심이

† Received : November 24, 2015 Revised : February 1, 2016 Accepted : February 3, 2016

* Corresponding author, E-mail : jysah@ynu.ac.kr

높아지면서, 대형 산업용 연의 다물체 동역학에 의한 비행 시뮬레이션[12-15]이 수행되었다.

방패연은 한국의 전통연으로써 전문가들에 의하여 주로 제작되면서 제작방법이 상당부분 표준화되어 있다. 반면에 가오리연은 누구나 쉽게 만들어 날리면서 제작방법이 제각각이므로, 표준화되어 있지 않다. 예를 들어 가오리연의 어깨살(허리살) 길이와 공수구멍의 위치, 목줄 길이는 가오리연 제작자마다 약간씩 다르고, 동일한 종류에서조차 개별 제작 편차가 심하다. 연의 제작방법이 표준화되어 있지 않다보니, 경험에 의하여 찾아낸 연의 목줄 매듭의 위치도 어깨살 길이에 따라 변한다. 그럼에도 불구하고 가오리연이 초보자들용으로 더 쉽게 날릴 수 있는 이유는 방패연에 비하여 꼬리와 날개의 사용으로 요잉(Yawing) 안정성을 확보하기 쉽기 때문이다.

NASA Kite Modeler[16]는 다이아몬드 등 여러가지 형상의 연들에 대하여 작은 받음각의 가정 하에서의 평판의 공력계수를 기준으로 낮은 종횡비(aspect ratio)의 날개에 대한 세류(down wash) 영향을 고려한 근사식을 사용하여 연의 비행자세를 계산하였다. 본 연구에서는 전산유체역학을 이용하여 가오리연의 보다 정확한 공기역학적 힘을 계산하고, 다양한 받음각에 따른 작용력을 찾아서 가오리연의 비행을 시뮬레이션함으로써, 새로운 매듭의 위치를 제안한다.

II. 본 론

2.1 가오리연 형상 정의

2.1.1 가오리연의 명칭

가오리연의 각 부분의 명칭을 Fig. 1에 나타내었다. 가오리연의 세로 뗏살을 중심살(중살), 가로 뗏살을 어깨살(허리살)이라 한다. 가오리연의 가로 뗏살은 방패연 명칭을 따라서 일반적으로 허리살이라 부르며, 일부에서는 어깨살이라 부르기도 한다. 하지만, 가오리연에서는 허리살이라 하기에는 위치가 너무 높아 본 연구에서는 허리살 대신 어깨살을 사용하기로 한다. 특히 어깨살과 중심살이 교차하는 지점이 상당히 중요한데, 이 교차점이 별다른 주목을 받지 못하여 특별한 명칭이 주어지지 않았다. 본 연구에서는 어깨살과 중심살이 만나는 곳을 목이라 부르기로 한다. 연에 실을 묶기 위해서는 두 개의 공수구멍을 뚫어야 하는데, 하나는 중심살의 위부분에 다른 하나는 중심살의 아래 부분에 각각 뚫는다. 연에 묶는 실을 목줄(방줄)이라 하고, 목줄의 위

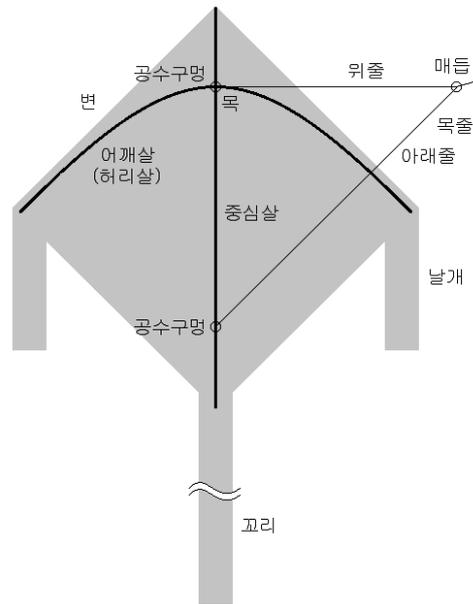


Fig. 1. Component names of Gaori kite

줄과 아래줄을 서로 묶은 곳을 매듭이라 한다. 양귀에 붙이는 리본을 날개라 하고, 밑에 붙이는 리본을 꼬리라 한다.

2.1.2 가오리연의 주요 형상 요소

가오리연의 주요 형상 요소를 Fig. 2에 나타내었다. 세가지 주요 형상 요소 중에서 첫번째는 중심살과 어깨살(허리살)이 교차하는 목의 위치를 정의하는 것으로써, 위로부터 목까지의 거리 n 이다. 두번째 형상 요소는 공수구멍의 위치를 정의하는 것으로써, 위로부터 위 공수구멍까지의

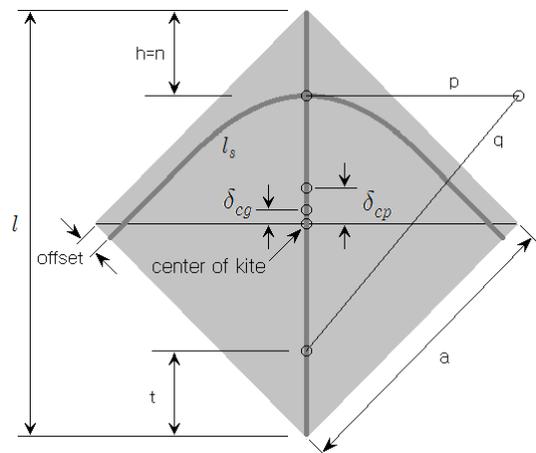


Fig. 2. Geometrical elements of Gaori kite

간격 h 와 아래로부터 아래 공수구멍까지의 간격 t 이다. 세번째 형상 요소는 목줄의 매듭의 위치를 정의하는 것으로써, 위줄 길이 p 와 아래줄 길이 q 이다. 가오리연의 세가지 주요 형상 요소의 역할은 매듭의 위치를 결정하는 것이다.

위 공수구멍을 목이 아닌 다른 곳에 뚫는 경우도 드물게 있지만, 대부분의 가오리연은 위 공수구멍을 목에 일치시킨다. 목은 가오리연에 작용하는 공기역학적 힘을 지탱하는 두 개의 대나무살이 교차하는 곳으로, 목에 위 공수구멍을 뚫어 목줄로 묶어주는 것이 구조적으로 안전하다. 본 연구에서는 목을 위 공수구멍과 일치시킨다.

2.1.3 가오리연 샘플 조사

시중의 민속 가오리연 중에서 색상이나 문양을 제외하고 크기와 형상만을 기준으로 가장 대표적인 세 종류의 가오리연 type A, type B, type C를 선정하였다. 각 종류 별 가오리연 조립 매뉴얼에 따르면, 주요 형상 요소는 다음과 같은 관계를 갖는다.

typeA: $h = n, t = h, p = 20cm, q = 25cm$

typeB: $h = n, t = h + 2cm, p = 20cm, q = 23 \sim 25cm$

typeC: $h = n, t = h, p = 20cm, q = 25cm$

하지만, 목의 위치 n 이 규정되지 않아서, 매듭의 위치를 결정할 수 없는 문제가 있다. 따라서, 각 종류 별로 가오리연 완성품과 조립부품을 구입하여, 목의 위치 n 을 측정하였다. Table 1, Table 2, Table 3에 각 종류 별 측정치를 제시하였다. 각 종류 별로 n/l 이 0.248, 0.207, 0.218로 서로 다른 것을 알 수 있다. 각 종류마다 완제품과 조립 매뉴얼에 따른 조립품을 함께 비교 조사하였는데, 완성품과 조립품이 서로 다를뿐 만 아니라 심지어 동일한 종류의 완제품이나 조립품 내에서조차 차이가 나는 것을 알 수 있다. 어깨살의 길이 l_s 에 따라 목의 위치가 달라지는데, 가오리연 제작자들이 어깨살의 길이 l_s 를 규정하지 않았기 때문이다. 측정치에서 m 은 연 본체(날개와 꼬리 제외)의 질량, δ_{cg} 는 연 본체의 무게중심이다.

Table 1. Type A : comparison between the product and the assembled

type A	샘플	a (cm)	l (cm)	$offset$ (cm)	l_s (cm)	n (cm)	δ_{cg} (cm)	m (g)	공수구멍 위치		목줄 길이	
									h	t	p	q
제품	#1	31	43.5	1.9	49.2	10.8	1	7.4	10.8	10	19.2	24.2
	#2	31	43.5	1.7	48.8	10.7	1	9.2	10.7	10.1	18.5	23.4
조립	#3	31	43.7	1.8	49.6	11.3	1	8.8	11.3	11.3	20	25
	#4	31	42.8	1.8	50.5	11.3	1	9.1	11.3	11.3	20	25
대표값		31	43.5	1.9	49.2	10.8	1	8.7	10.8	10	19.2	24.2

Table 2. Type B : comparison between the product and the assembled

type B	샘플	a (cm)	l (cm)	$offset$ (cm)	l_s (cm)	n (cm)	δ_{cg} (cm)	m (g)	공수구멍 위치		목줄 길이	
									h	t	p	q
제품	#1	30.5	42.9	2.2	53.2	7	2	8.9	7	11.3	24.2	28.1
	#2	30.5	43.3	1.7	53.1	7.1	2	8.5	7.1	11.1	24.5	28.6
조립	#3	30.4	43.2	2	53.4	7	2	8.8	7	9	20	24
	#4	30.2	43.3	2	53.5	7.1	2	8.1	7.1	9.1	20	24
대표값		30.5	42.9	2.2	53.2	7	2	8.9	7	11.3	24.2	28.1

Table 3. Type C : comparison between the product and the assembled

type C	샘플	a (cm)	l (cm)	$offset$ (cm)	l_s (cm)	n (cm)	δ_{cg} (cm)	m (g)	공수구멍 위치		목줄 길이	
									h	t	p	q
제품	#1	35	49.6	1.6	58.3	10.8	1.2	10	10.8	15	18	24.2
	#2	35	49.4	1.5	58.3	10.5	1.2	10.6	10.5	14.5	18.5	24.2
조립	#3	35	49.3	1.5	58.1	10.7	1.2	9.4	10.7	10.7	20	25
	#4	35	49.8	1.5	58.1	10.7	1.2	10.7	10.7	10.7	20	25
대표값		35	49.6	1.6	58.3	10.8	1.2	10	10.8	15	18	24.2

날개의 크기와 질량은 type A는 $3\text{cm} \times 15.5\text{cm}$ 와 0.2g , type B는 $2\text{cm} \times 30\text{cm}$ 와 0.45g , type C는 $3\text{cm} \times 15.1\text{cm}$ 와 0.2g 이었다. 꼬리의 크기와 질량은 type A는 $3\text{cm} \times 184\text{cm}$ 와 2.9g , type B는 $3\text{cm} \times 273\text{cm}$ 와 2.9g , type C는 $4\text{cm} \times 186\text{cm}$ 와 3.2g 이었다.

2.1.4 가오리연 어깨살(허리살)의 표준화

가오리연의 형상을 표준화하는데, 첫번째 단계는 어깨살(허리살)의 형상을 정의하는 것이다. 대나무살을 잘라서 단면을 동그랗게 가공한 후, 양쪽 옆쪽지에서 연의 상부 경계면으로부터 *offset* 만큼 들여서 대나무살을 휘어붙이면 어깨살(허리살)이 된다. 하지만, 어깨살(허리살)의 길이에 따라 어깨살의 휘어진 형상과 중심살과의 교차점인 목의 위치가 달라진다. 본 연구에서는 어깨살(허리살)의 형상을 직선과 직선에 접하는 원호로 가정하여 어깨살 길이에 따른 목의 위치를 계산하여 측정데이터와 비교한 결과 상당히 잘 일치하는 것을 확인하였다. 어깨살(허리살)을 직선과 직선에 접하는 원호로 가정하여 위로부터 목의 거리가 $0.2l$ 이 되는 어깨살의 길이 l_s 를 계산한 결과 $l_s = 1.2l$ 를 얻었다. 즉, 어깨살(허리살)의 길이를 중심살 길이보다 120% 길게 하면, 위로부터 목의 거리가 대략 $n = 0.2l$ 을 만족한다. 위 공수구멍을 목에 일치시키고 아래 공수구멍을 위 공수구멍과 대칭으로 뚫으면, 위 공수구멍 간격은 $h = 0.2l$, 아래 공수구멍 간격은 $t = 0.2l$ 이 된다.

2.2 연의 비행 시뮬레이션

2.2.1 연의 유동 해석

연 본체(날개 및 꼬리 제외)에 작용하는 공기

역학적 힘을 계산하기 위하여, FLUENT를 이용하여 정상상태의 비압축성 유동을 해석하였다. 풍속 U 는 3m/s , 받음각 α 는 $0^\circ \sim 45^\circ$ 영역에서 변화시켰으며, 난류모델링은 $k-\epsilon$ 방법을 사용하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이, 연의 유동 해석 결과에 의한 유동 경로선은 가오리연의 위에서 모서리를 따라 와류가 발생하여 연의 윗쪽으로 발달되고, 이에 의하여 양력이 생성되는 과정을 보여준다. 연의 비행을 계산하기 위하여 연의 중심에 작용하는 양력과 항력, 모멘트의 무차원 계수를 구하였다. 무차원화에서 속도는 풍속을, 면적은 연의 면적을, 길이는 중심살의 길이를 사용하였다.

$$C_L = L / (\frac{1}{2} \rho U^2 a^2)$$

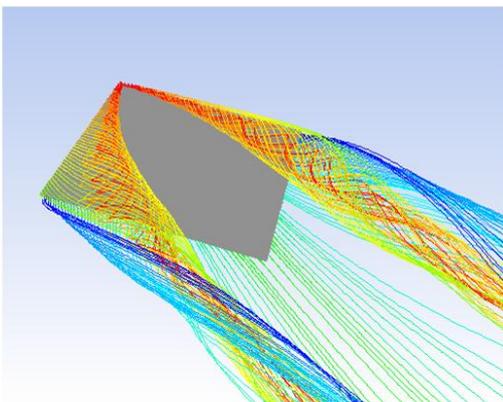
$$C_D = D / (\frac{1}{2} \rho U^2 a^2)$$

$$C_M = M / (\frac{1}{2} \rho U^2 a^2 l)$$

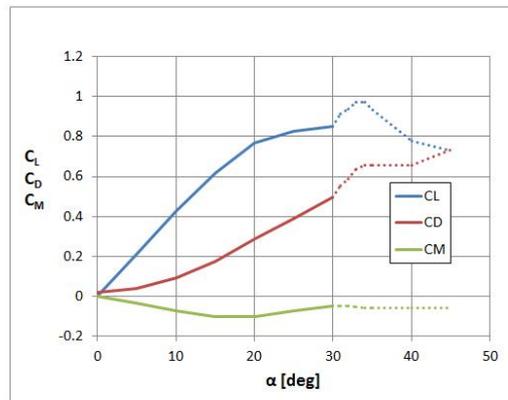
2.2.2 연의 비행 자세 계산

연의 비행자세를 계산하였다. 풍속 3m/s 에서 계산된 무차원 계수들로부터 레이놀즈 상사성을 이용하여 풍속 $2 \sim 7\text{m/s}$ 일 때 연 중심에서 연 본체(날개와 꼬리 제외)에 작용하는 양력과 항력, 모멘트를 유추하였다. 가오리연의 날개와 꼬리의 하중과 항력은 별도로 고려하였으며, 날개와 꼬리의 저항계수는 0.2로 가정하였다.

계산된 양력과 항력, 모멘트를 이용하여, Fig. 4에서와 같이 매듭(B.P.)을 중심으로 하여 힘의 합력 F_R 과 모멘트 합 M_R 을 계산한다.



(a) Flow Streamline



(b) Aerodynamic force coefficient

Fig. 3. Computational result of Gaori kite

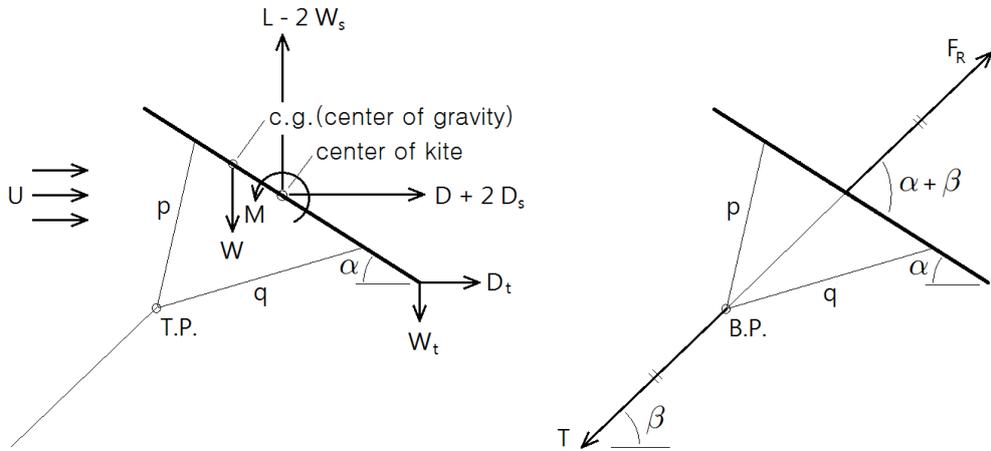


Fig. 4. Total force acting on Gaori kite

$$\vec{F}_R = \vec{L} + \vec{D} + \vec{W} + \vec{D}_t + 2\vec{D}_s + \vec{W}_t + 2\vec{W}_s$$

$$\vec{M}_{RBP} = \vec{M} + (\vec{r}_c - \vec{r}_{BP}) \times (\vec{L} + \vec{D} + 2\vec{D}_s + 2\vec{W}_s) + (\vec{r}_{cg} - \vec{r}_{BP}) \times \vec{W} + (\vec{r}_t - \vec{r}_{BP}) \times (\vec{D}_t + \vec{W}_t) = 0$$

여기서, L 과 D 는 연 본체의 양력과 항력, M 은 연의 중심에 작용하는 연 본체의 모멘트, W 는 연 본체(날개와 꼬리 제외)의 하중, W_s 와 W_t 는 날개 및 꼬리의 하중, D_s 와 D_t 는 날개 및 꼬리의 항력이다. r 은 위치벡터이고, 하첨자 c 는 연의 중심, BP 는 매듭, cg 는 연 본체(날개와 꼬리 제외)의 무게중심, t 는 연의 아래 꼭지점이다. $M_R > 0$ 이면, 매듭에 대하여 양의 모멘트가 작용하여 연의 받음각 α 가 감소하며, $M_R < 0$ 이면 받음각 α 가 증가한다. 마침내 $M_R = 0$ 가 만족되면, 주어진 풍속 U 에 대한 연의 받음각 α 가 결정된다. 이 때 힘의 합력 F_R 이 지면과 이루는 각도 β 는 매듭에 묶인 실의 각도를 결정하며, F_R 의 크기는 실에 걸리는 장력 T 를 결정한다.

풍속 U 가 작은 경우, 양력이 부족하여 $M_R = 0$ 를 만족하는 받음각 α 가 존재하지 않는 영역이 존재한다. $M_R = 0$ 를 만족하는 최소 U 를 최소요구풍속 U_{req} 라 부르기로 한다. 매듭의 위치에 따라 최소요구풍속이 달라진다.

매듭의 위치는 풍속 U 에 대한 연의 비행 자세 뿐만 아니라 최소요구풍속 U_{req} 를 결정짓는 중요한 요소이다.

2.3 매듭의 위치에 따른 비행 성능 비교

연의 종류 type A, type B, type C에서 연의

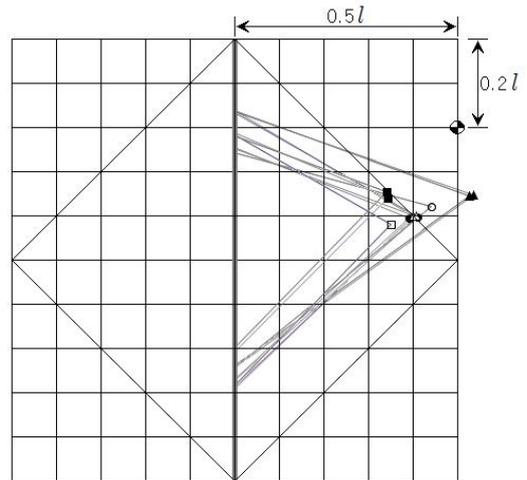


Fig. 5. Comparison of the tow point :
 type A - ● product, ○ assembled,
 type B - ▲ product, △ assembled,
 type C - ■ product, □ assembled,
 proposal - ⊕

형상이나 재료에 의한 차이보다 매듭의 위치에 대한 차이가 연의 비행 성능에 훨씬 더 큰 영향을 미친다. Fig. 5에서, 각 종류 별로 매듭의 위치를 조사하여 비교 정리하였다.

연의 크기에 따라 공기역학적 힘을 받는 정도가 달라지므로, 30cm × 30cm의 크기로 표준화시켜 비행 성능을 비교하였다. 각 종류 별로 완제품의 매듭에 대한 비행 시뮬레이션 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 본 연구에서 제안한 새로운 매듭은 매듭에서 연실이 지상과 이루는 각도 β 가

Table 4. Average wind velocity[17]

	내륙 지방	해안 지방
10m 상공	1.5 ~ 2 m/s	2 ~ 3 m/s
50m 상공	2 ~ 3 m/s	3 ~ 4 m/s
80m 상공	3 ~ 4 m/s	4 ~ 5 m/s

가장 큰 값을 갖는 반면, 장력 T 는 가장 작은 값을 갖는다. 가로축의 풍속에서 각 매듭마다 연이 날기 시작하는 최소요구풍속이 다르다는 것을 알 수 있으며, 제안 매듭은 풍속 2.14m/s에서부터 연이 날기 시작한다. 반면에 type A 매듭은 3.97m/s, type B 매듭은 3.26m/s, type C 매듭은 2.6m/s에서 날기 시작한다.

Figure 6의 type 별 비행 성능 차이는 각 type의 완제품의 매듭에 대한 것으로, 완제품에서는 type C, type B, type A 순으로 최소요구풍속이 낮았지만, 각 type 별 조립 메뉴얼에 따른 조립품의 매듭은 type A, type B, type C 순으로 낮았다. 이러한 차이는 연 자체의 성능에서 기인한 것이 아니라, 매듭을 묶는 방법의 차이에서 온 것으로 연 자체에 의한 비행성능 차이는 미미하다. 이 결과는 바람이 약한 날에도 가오리연을 잘 날리기 위해서는 매듭의 위치가 중요하다는 점을 잘 보여준다.

2.4 가오리 연과 최소요구풍속

방패연은 주로 전문가들에 의하여 제작되어 날려지는 반면, 가오리연은 초보자나 어린아이들

에 의하여 날려지는 경우가 대부분이다. Table 4에서 보는 바와 같이 우리나라 고도 10m에서의 평균풍속이 내륙지방 1.5~2m/s, 해안지방 2~3 m/s 인 점을 감안하면, 가오리연의 비행 성능에서 가장 중요한 점은 2m/s 내외의 낮은 최소요구풍속이어야 한다. 초보자나 어린아이들이 내륙 지방에서 특별히 바람이 세지 않은 날에도 연을 날릴 수 있어야 하기 때문이다.

2.5 가오리연의 새로운 매듭 제안

가오리연의 비행성능에서 가장 중요한 것은 매듭의 위치이다. 연의 비행 시물레이션을 통하여 매듭의 위치를 지정하기 편리하면서 낮은 풍속에서 잘 날고 더 높이 날 수 있는 매듭의 위치를 찾았으며, 이 매듭을 쉽게 만들 수 있는 방법을 제안하였다.

Figure 7에서 제안된 매듭에 대하여, 풍속을 최소요구풍속 2.14m/s부터 3m/s, 5m/s, 7m/s로 증가시키면서 연의 비행 자세의 변화를 나타내었다.

2.5.1 임의의 형상 요소에 대한 제안 매듭

일반적인 가오리연은 어깨살의 길이를 규정하지 않아서 목의 위치가 불명확하기 때문에, 위공수구멍 간격과 아래공수구멍 간격, 위줄 길이, 아래줄 길이의 형상요소만으로는 정확한 매듭의 위치를 정의할 수 없다. 따라서, 임의의 목의 위치에 대하여 일관성있는 매듭의 위치를 정의하기 위하여, Fig. 8(a)와 같이 연의 중심을 원점으로 하여 새로운 매듭 좌표 (x, y) 를 연의 외부에 위

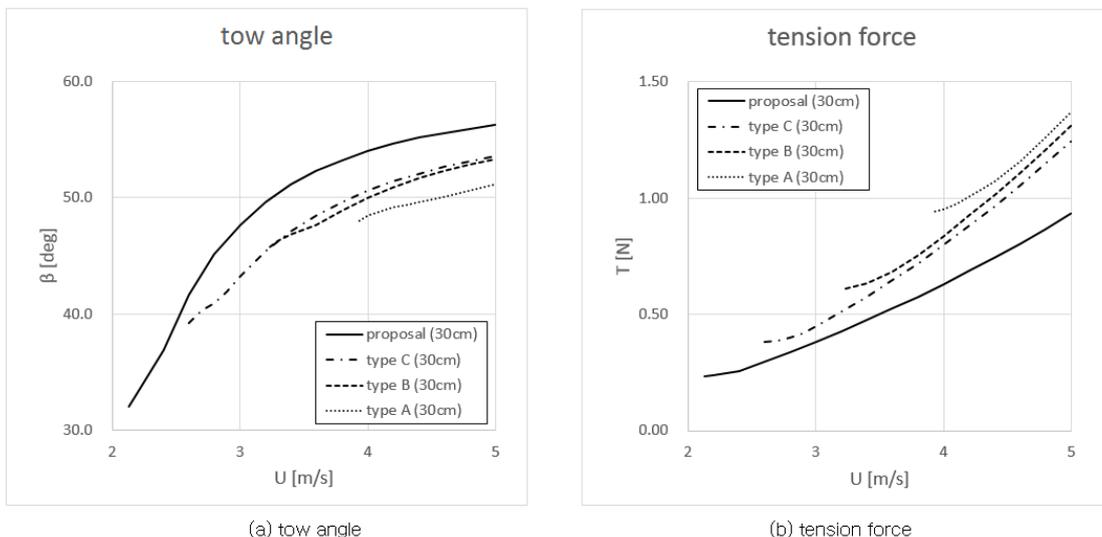


Fig. 6. Comparison of the tow angle and the tension force

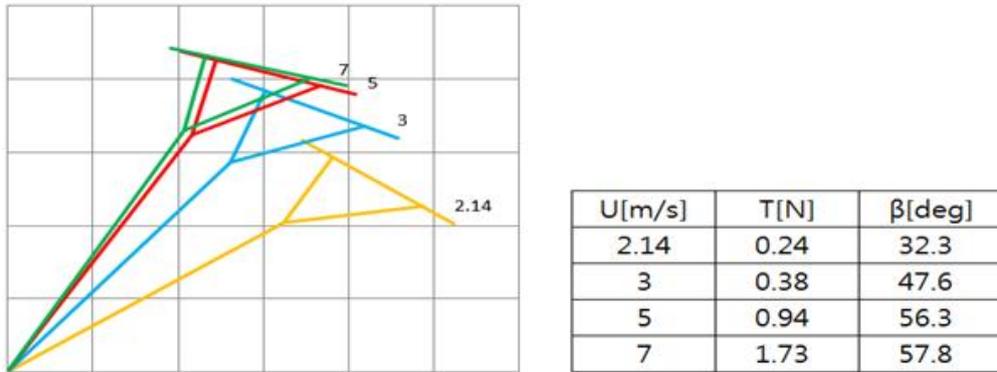


Fig. 7. Flight simulation of Gaori kite with the proposed tow point

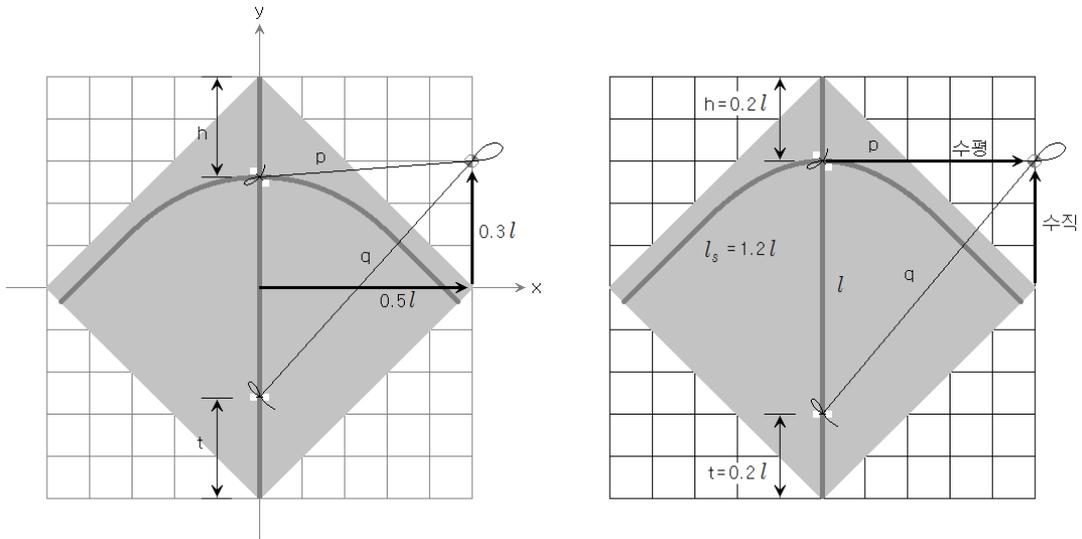


Fig. 8. Proposed tow point

치한 $(0.5l, 0.3l)$ 에 표시해 둔다. 목줄의 길이를 중심살 길이 l 의 두 배정도로 하여, 목줄의 한쪽 끝을 입의 앞공수 구멍에 묶고 나머지 한쪽 끝을 입의 뒷공수 구멍에 묶는다. 목줄의 가운데 부분을 잡고 연의 외부에 표시한 매듭의 좌표 $(0.5l, 0.3l)$ 까지 당겨서 매듭을 묶으면, 위줄 길이와 아래줄 길이는 자동으로 결정된다. 하지만, 이 방법은 연을 제작하는 과정에서 연의 중심을 원점으로 연의 외부 영역에 $(0.5l, 0.3l)$ 을 표시하는 것이 다소 불편할 수 있다.

2.5.2 제안 형상 요소에 의한 제안 매듭

형상요소를 규정하기 위하여서는 어깨살(허리살)의 길이를 먼저 규정하여야 한다. 먼저 어깨살(허리살) 길이를 중심살 길이의 1.2배로 준비하고 ($l_s = 1.2l$), 옆쪽지에서 상변으로부터 1.5cm 정도

띄워 어깨살을 붙이면, 어깨살과 중심살이 교차하는 목의 위치가 위로부터 중심살 길이의 0.2 배가 된다($n = 0.2l$). 위 공수구멍을 목에 일치시켜 뚫고 ($h = n$), 아래 공수구멍을 위 공수구멍과 대칭이 되도록 뚫는다($t = h$). 중심살 길이의 2배에 해당하는 목줄을 준비하여 양쪽 끝을 위 공수구멍과 아래 공수구멍에 각각 묶고, Fig. 8(b)에서 보는 바와 같이 목줄의 중간을 잡고 위 공수구멍과 같은 높이에서 수평으로 옆으로 당기면서, 옆쪽지에서 위 방향으로 그 수직선과 만나는 지점에 매듭을 묶는다. 이 방법은 연의 외부에 매듭의 위치를 별도로 표시하지 않더라도, 위로부터 위 공수구멍 간격을 $h = 0.2l$ 로 하였기 때문에 수평방향으로 옆으로 당겨 옆쪽지로부터의 수직선과 만나는 곳에서 매듭을 묶으면 항상 $(0.5l, 0.3l)$ 를 만족시킨다.

III. 결 론

우리나라 내륙 지방의 평균 풍속이 지면 가까이에서는 2m/s 내외에 불과하기 때문에, 2.14m/s의 낮은 풍속에서도 비행이 가능한 가오리연의 새로운 매듭을 제안하였다. 제안 매듭은 연의 중심에 대하여 (0.5l, 0.3l)에 위치한다. 기존 매듭들은 최소요구풍속이 3~4m/s이므로 바람이 세게 부는 날에만 연을 날릴 수 있었다.

제안 매듭의 가오리연을 손쉽게 제작하는 방법은 어깨살(허리살) 길이를 중심살 길이의 1.2배로 하여, 위 공수구멍을 목과 일치시키고, 아래 공수구멍을 위 공수구멍과 대칭 위치에 뚫고, 목줄을 위 공수구멍과 같은 높이에서 수평으로 당겨 옆쪽지로부터의 수직선과 만나는 점에서 매듭을 묶는다.

목의 위치가 규정되지 않은 일반적인 가오리연들은 연의 중심에 대하여 매듭의 위치가 (0.5l, 0.3l)에 오도록 하여 직접 매듭을 묶는다.

매듭의 위치가 (0.5l, 0.3l) 근처에서는 비슷한 비행성능을 갖겠지만, (0.5l, 0.3l)으로 지정한 이유는 소수점 첫째자리(0.5와 0.3)까지 매듭의 위치를 조사하였기 때문이다.

Reference

- 1) Lee, Damjoo, "A Study on the Korean Kites," Ancient Culture Vol. 13, May 1975, pp.9-19, The Korean Association of University Museums.
- 2) Park, Nae-kyung, "A Study of folklore on a Korean kite," master thesis, Graduate School of Education, Chonnam National University, 1977.
- 3) Jun, Won Hee, "A Experimental Study on the Possibility Making Modeling of Kite," master thesis, Ewha Womans University, 1986.
- 4) Lee, Tae-back, "A Study Historical of the Korean Traditional Kites - Focusing on the Image Design and Manufacture," master thesis, Hanyang University, 2011.
- 5) Lee, Sun Woo, "A Study on the Characteristics of Korea Kite Bang Pae," Journal of Dong-Eui Institute of Technology, Vol. 25, No. 1, 1999, pp.453-461.
- 6) Lee, Sun Woo, "An Experimental Study on the Manipulation Performances of the Korean Traditional Kite, Bangpae," Journal of Dong-Eui Institute of Technology, Vol. 26, No. 1, pp.333-339, 2000.
- 7) Kang, C. H. and Kim, I. G., "The Static Flight Performance Analysis of a Korea Traditional Kite," 14th Australian International Aerospace Congress, 28 Feb, 2011, Melbourne, Australia.
- 8) Kang, Chi-Hang, "A Study of Wind Tunnel Test of a Korean Traditional Bangpae Kite with the Wind Hole and Spanwise Curved Dihedral," J. of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 39, No. 9, 2011, pp.866-870.
- 9) Kang, Chi-Hang, "A Study on Trim Flight Condition for a Korean Traditional Bangpae Kite with Low Aspect Ratio," J. of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 39, No. 9, 2011, pp.871-876.
- 10) Alexander, K. and Stevenson, J., "Kite Equilibrium and Bridle Length," The Aeronautical Journal, Vol. 105, No. 9, 2001, pp.535-542
- 11) Williams, P., Lansdorp, B. and Ockels, W., "Optimal Crosswind Towing and Power Generation with Tethered Kites," J. of Guidance and Control and Dynamics, Vol. 31, No. 1, Jan-Feb. 2008, pp.81-93.
- 12) Fujiwara, K., Hiroe, T. and Hata, H., "Stability Control of Small Kite Balloon with Tensioned Anchoring Rope," 2008 KSAS-JSAS Joint International Symposium, pp.282-285.
- 13) Dawson, Ross Hughan, "Kite Turning," Master Thesis, U. of Canterbury, New Zealand, 2011.
- 14) Hobbs, Stephen E., "A Quantitative Study of Kite Performance in Natural Wind with Application to Kite Anemometry," PhD Thesis, Cranfield Institute of Technology, 1986.
- 15) Breukels, J., "An Engineering Methodology for Kite Design," PhD Thesis, Technische Universiteit Delft, 2010.
- 16) NASA Kite Modeler, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/kite1.html>
- 17) Wind Resource Map Development Report, published registration number, 11-1360 000-14, Korea Meteorological Admin., 2007.