

“선미 노의 추력발생기구 규명을 위한 실험적 연구”에 관한 노트

사쿠라이 다케오

A note on “An Experimental Study on the Propulsive Characteristics of Sculls”

by Takeo Sakurai

요 약

김효철, 이봉구, 임창규는 “선미 노의 추력발생기구 규명을 위한 실험적 연구” (대한조선학회지 제26권, 제2호, 1989, 13-24) 이란 논문에서 한국의 소형선에 쓰이고 있는 선미 노가 추력을 발생하는 기구를 밝히기 위하여 trimming tank 끝에 노를 설치하고 충분한 경력을 가지고있는 기능자로 하여금 선미 노를 조작케 하며 실험적으로 조사하였다. 특히, 배가 진행하는 방향을 x-축으로 하는 직교 좌표계를 선정하고 Fig.8과 18에 보인 바와 같이 노 날의 궤적과 노 날의 각 변위를 3차원적으로 나타내었으며, Fig.14와 20에는 노 날에 작용하는 힘의 각 좌표축방향 성분을 나타냈다. 그들의 연구는 선미 노의 작동을 실험적 분명히 규명 한 최초의 연구로 보인다. 보통, 선미 노는 작은 받음각을 가지도록 작동되어 노 날에서 얻어지는 양력으로 추력을 발생한다고 생각되어 왔다. 그러나, Fig. 8과 18을 보면, 계측되는 거의 모든 시점에서 노 날의 받음각은 크게 나타나고 있어서 노 날은 항공 공학적으로 볼 때 실속상태에 있는 것으로 추측된다. 이 노트에서는 상기 논문의 데이터를 사용하여 이와 같이 추측되는 것을 확인하고자하였다. 그 결과, 선미 노 날이 운동할 때 발생하는 양력으로 추력이 발생한다고 지금까지 이해하여왔던 사실은 신중히 검토할 필요가 있다고 확인하였다.

Abstract

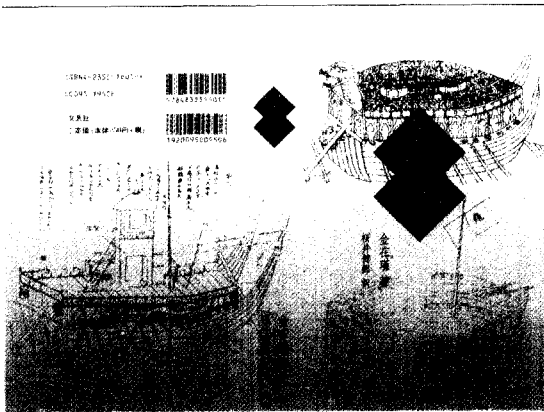
H. Kim, B.K. Lee and C.K. Rheem have been experimentally studied to clarified the mechanism of thrust force generated by sculling motion for the propulsion of Korean small boats. The experimental investigations have been conducted under the bollard condition by installing a scull at the end of a trimming tank of towing tank. The sculling motion produced by the skilful fisherman and the resultant generated forces have been measured in respect to the Cartesian coordinate fitted to the pivot point of the scull. (“An Experimental Study on the Propulsive Characteristics of Sculls”: J. of the Soc. of Naval Arch. of Korea, Vol. 26, No. 3, 1989, pp.13-24)

Through these experiments the trajectory of the blade tip and the angular displacement of the blade section have been measured as shown in Fig. 1 and 2 of this paper. And at the same time the resultant hydrodynamic force components are expressed in Fig. 3 and 4. These three dimensional data of sculling motion and generated real time force components are the unique experimental information which could clarify the thrust force generating mechanism of sculling motion.

The experimental results have been reanalyzed by focusing the relation between instantaneous attack angle of blade section and the resultants real time force components. Through these investigation it is found out that the conventional imagination that the scull motion should be effective in generating lift force must be reconsidered because the attack angle of scull blade are too great to free from stall phenomena during the sculling operation.

사소

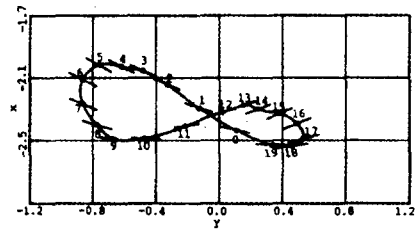
사쿠라이 타케오교수(쿄토대학 명예교수)는 토쿄대학 물리학과에서 이론유체역학을 전공하였으며, 코토대학 항공공학과에서 30여년동안 대학원 교육과 고등연구를 담당 해온, 세계적인 정상급 유체역학 학자이다. 오랫동안 거북선을 연구해 오고 있으며, 최근에는 김재근 교수의 명저 “거북선”을 일본어로 번역 출판하였다. 사쿠라이 교수는 과거 15년 이상, 거북선의 유체역학적 해석과 물리적 규명에 전념하고 있으며, 한국어를 공부하면서, 한국과 일본의 역사적 자료의 바탕 위에, 현대적 유체역학의 지식과 방법론을 활용하여 거북선에 대한 새로운 조명을 시도하고 있다. 수년전 코토대학에서 정년퇴직했고, 한국을 여러 번 방문하였으며, 대한조선학회, 서울대학교, 한국과학기술원에서 거북선 관련 연구 결과를 강연하기도 했다.



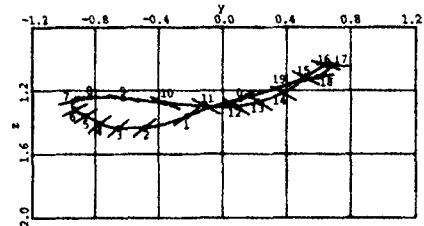
서 언

김효철, 이봉규, 임창규 등은 “선미 노의 추력발생기구 규명을 위한 실험적 연구 (대한조선학회지 제26권, 제2호, 1989, 13-24)”이란 논문에서

- (1) 한국의 소형선에서 사용되고 있는 선미 노의 기하학적 특성을 조사하여 연구대상으로 삼을 선미 노의 기하학적 치수를 결정하였으며
- (2) 6자유도 운동계측장치, 3분력 검력계, 기록장치

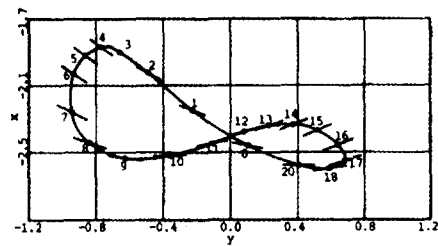


a) Projection on x - y plane

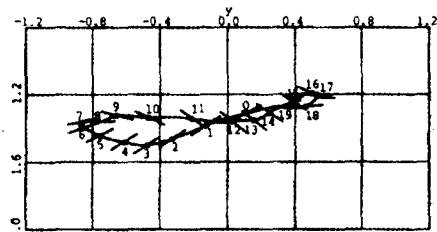


b) Projection on y - z plane

Fig.1 Trajectories of blade tip (김효철 등의 Fig. 8)



a) Projection on x - y plane



b) Projection on y - z plane

Fig. 2 Trajectories of scull blade (김효철 등의 Fig. 18)

- 등을 사용하고 선미 노를 trimming tank 끝에 설치하여
- (3) 충분한 경력을 가지고있는 기능자가 그 선미 노를 조작하는 동안에 선미 노의 운동과 노에 작

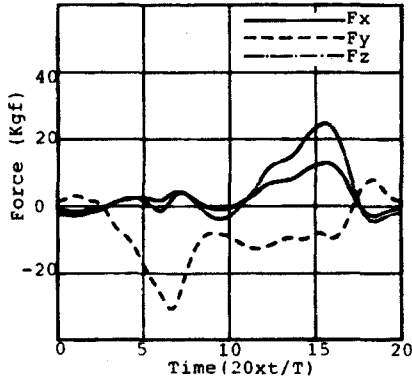


Fig. 3 Force components obtained by drodynamic action of scull blade(김효철 등의 Fig. 20)

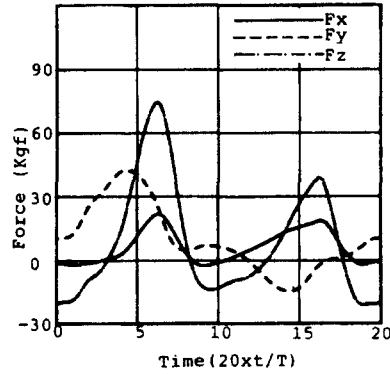


Fig. 4 Force components obtained by drodynamic action of scull blade (김효철 등의 Fig. 14)

용하는 힘을 실험적으로 조사하였다. 특히,

- (4) 배가 진행하는 방향을 x-축으로 하는 우수 직교 좌표를 채택하여 노 날의 궤적과 각 변위를 Fig.8 과 18에 표기하여 3차원적 운동을 나타내었으며 Fig.14와 20에서는 노 날에 작용하는 힘의 각 좌 표축 방향 성분을 나타내었다.

그들의 결과는 선미 노의 운동을 실험적으로 분명히 규명한 최초의 결과이다. 보통, 선미 노는 작은 받음각 으로 쓰이고 있어서 노 날에서 발생하는 양력에 의하여 추력이 발된다고 이해되어 왔다. 그러나, Fig. 8과 18을 보면, 계측되는 거의 모든 시점에서 노 날의 받 음각은 양력을 발생시키기에는 너무 커서 노 날이 항 공공학적 실속상태에서 작동되고 있는 것으로 추측된 다. 여기서 상기 논문에 소개되어 있는 데이터를 이용 해서 그렇게 추측할 수 있는 근거를 확인하기로 한다. 이하에는 시험결과를 다시 사용하기 위하여 상기논문 의 Fig. 8, 18, 14, 20을 순서대로 이 논문에서 Fig.1, 2, 3, 4로 다시금 수록한다.

1. 노 날에 작용하는 항력과 양력

비행기 날개는, 받음각이 10도 정도 이하일 때에는 양력이 항력보다 훨씬 크기 때문에, 보통 10도 이하의 미소한 받음각으로 사용되며 날개에 작용하는 양력을

Table 1 노 날의 속도벡터가 y축과 이루는 각

항목	case A (Fig.8)		case B (Fig.18)	
	xy-면	yz-면	xy-면	yz-면
0	143	-162	152	163
1	143	-158	141	160
2	143	-180	141	160
3	167	168	141	175
4	169	153	-156	-166
5	-146	153	-129	-155
6	-118	119	-97	-108
7	-61	--	-109	-169
8	-51	1	-30	-26
9	-18	-7	-9	6
10	-1	-7	13	0
11	20	-4	13	6
12	20	11	13	6
13	--	18	0	-30
14	-14	26	2	-24
15	-23	34	-27	--
16	-54	--	-55	--
17	-131	--	-145	--
18	-177	-162	--	0
19	154	-162	162	0

Table 2 노 날에 작용하는 힘의 x, y, z축 방향 성분

항목	case A (Fig.8)			case B (Fig.18)		
	x	y	z	x	y	z
0	0.0	11.1	-20.0	-0.74	1.5	-1.5
1	-2.2	12.2	-20.0	-1.5	3.0	-3.0
2	-1.1	25.5	-8.9	-0.75	1.5	-1.5
3	1.1	37.8	-2.2	0.74	-3.7	0.74
4	3.3	42.2	12.2	2.2	-8.9	2.2
5	11.1	42.2	44.4	1.5	-17.8	1.5
6	22.2	28.9	72.2	-1.5	-26.7	-1.5
7	17.8	7.8	57.8	3.7	-26.7	3.7
8	2.2	4.4	2.2	1.5	-11.9	0.0
9	-3.0	6.7	-12.2	-0.74	-8.1	-3.0
10	-1.1	6.7	-12.2	-0.74	-8.9	-3.0
11	2.2	4.4	-8.9	2.2	-11.9	2.2
12	4.4	0.0	-7.8	5.2	-12.6	9.6
13	6.6	-7.8	0.0	7.4	-10.4	13.3
14	13.3	-13.3	13.3	8.9	-9.6	17.0
15	15.6	-13.3	25.6	11.9	-8.9	23.0
16	17.8	-3.3	37.7	12.6	-9.6	23.0
17	13.3	1.1	20.0	5.2	-1.5	10.4
18	2.2	2.2	-8.9	-2.2	7.4	-3.7
19	-2.2	7.8	-21.1	-1.5	5.2	-3.0

Table 3 노 날에 작용하는 항력과 양력의 크기

항목	case A (Fig.8)		case B (Fig.18)	
	항력	양력	항력	양력
0	13.7	20.2	2.0	1.0
1	16.7	19.2	4.0	2.1
2	21.1	16.9	2.0	1.1
3	35.2	15.7	3.4	1.8
4	42.1	24.5	8.3	4.5
5	43.7	49.5	9.3	15.4
6	72.2	38.1	4.9	26.5
7	---	---	5.1	26.6
8	1.1	5.3	10.1	6.4
9	5.9	12.5	8.1	2.9
10	5.1	13.4	8.8	3.2
11	4.2	9.1	10.8	5.8
12	0.0	9.5	10.0	13.2
13	---	---	15.6	9.7
14	20.3	10.4	15.4	14.9
15	29.2	15.1	---	---
16	---	---	---	---
17	---	---	---	---
18	4.9	8.1	---	---
19	13.5	17.7	5.4	3.0

이용하는 것을 목적으로 하고 있다. 그러나 받음각이 그 범위를 넘어가면, 날개 뒷면을 지나는 경계층이 박리되기 때문에, 양력은 급격히 감소하고 항력은 급격히 증가해서 받음각이 20도 정도에 이르게 되면 양력과 항력은 거의 같은 크기가 된다. (H. Schlichting : Boundary-Layer Theory, Translated by J. Kestin, McGraw-Hill, 1968, p. 22, Fig. 1.12) 그와 같은 상태는 항공공학에서 실속상태로 불리고 있다. 서언에서 말한 노 날이 항공공학적인 실속상태에 있는 것은 아닌가를 추측을 확인하기 위하여 노 날에 작용하는 양력이 항력과 같은 정도의 값을 가지고 있는지를 확인하여야 한다.

Fig. 1과 2는 노 날의 궤적을 3차원적으로 나타내기 때문에 노 날의 속도도 3차원적으로 구할 수 있다. 특

히, 그들 도표로부터 노 날의 속도벡터가 y-축과 이루는 각을 구하면 다음의 Table 1과 같은 결과를 얻을 수 있다.

상기의 데이터들을 이용하면 노 날의 속도벡터의 방향 여현을 얻을 수 있다. 그 방향 여현으로 표현되는 제1 유닛 벡터와 y-축 방향 유닛 벡터의 벡터 적으로 전자와 수직인 제2 유닛 벡터를 얻는다. 그리고 제1과 제2 유닛 벡터의 벡터 적으로부터 그들 유닛 벡터와 각각 수직인 제3 유닛 벡터를 얻는다.

Fig.3과 4에서 나타내는 노 날에 작용하는 힘의 x, y, z축 방향 성분을 구하면 하기의 Table 2와 같다.

상기 데이터를 이용하여 노 날에 작용하는 힘과 제1, 제2, 제3 유닛 벡터의 스칼라 적을 계산하면 노 날에 작용하는 힘의 각 유닛 벡터 방향의 성분을 얻는다. 그



들 중 제1 유닛벡터 방향의 성분은 항력이고 다른 두 개의 성분들로부터 얻어지는 2차원 벡터는 양력이 된다. 항력과 양력의 크기를 구하여 다음의 Table 3에 나타내었다.

2. 결 언

Table 3의 결과를 보면 거의 모든 시점에서 노 날에 작용하는 양력과 항력은 같은 정도의 값을 보이고 있다. Table 1과 Table 2 수치들은 각각 Fig. 1(또는 2)과 Fig. 3(또는 4)의 곡선들의 높이를 계측해서 얻은 수치들임으로 계측 값에 10 퍼센트 정도의 오차가 있을 수 있다고 생각된다. 그와 같은 오차를 인정한다고 하더라도 양력과 항력이 거의 같은 정도의 값을 가진다는 사실은 변하지 않는 것으로 나타나 있다. 서언에서 말한 바와 같이 상기 논문에서 실험적으로 조사한 바에 따르면 선미 노는 분명히 실속상태로 사용되고 있다. 그 결과는 선미 노가 양력을 발생시키도록 조작한다고 관념적으로 이해하여 왔던 것과는 완전히 다르다. 선미 노가 양력을 발생시키도록 작동한다는 조건에서는 양력이론은 틀림없이 선미 노가 추력을 발생시키는 기구를 밝히는 중요한 이론이 될 것이지만, 여기서 보인

결과에 따르면 그와 같은 전제 하에서 이론적 해석방법을 응용하기에 앞서서 충분한 검토가 필요할 것임을 나타내고 있다. 그리고 선미 노를 실속 상태에서 사용하여온 역사적 또는 실제적 배경도 다시 살펴볼 필요가 있다고 생각된다.

감사의 말

필자는 거북선에 관심을 가지고 공부하여 왔으며 그 과정에서 알게된 흥미로운 사실을 이 노트로 정리하게 되었습니다. 그와 같은 과정에서 따뜻한 지도와 애정으로 보살펴주셨던 많은 한국의 선생님들께, 특히, 현재민 선생님과 장석 선생님을 비롯하여 고 김재근 선생님, 황종홀 선생님, 이기표 선생님께 진심으로 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- 김효철, 이봉구, 임창규: 선미 노의 추력발생기구 규명을 위한 실험적 연구, 대한조선학회지 제26권, 제2호, 1989, 13-24
- H. Schlichting: Boundary-Layer Theory, Translated by J.Kestin, McGraw-Hill, 1968, p. 22, Fig. 1. 12