

해면효과익(WIG)선의 특성 및 해군력 증강 활용에 관한 소고

전 호 환 <부산대학교 조선해양공학과 부교수>

초 목

본 원고는 대전 계룡대에서 개최된 '99 조합 세미나에서 발표된 내용이다. 해면효과익선의 특성, 발전배경, 경제성 및 문제점등에 대해서 언급하고 한국해군력 증강 활용방안에 대해서 언급하였다. 원고의 내용순서는 다음과 같다.

내 용

1. 서 론
2. 해면(지면)효과란?
3. 용 어
4. 역사적 발전 배경
5. 경제성
6. 해면효과익선의 장점과 해결해야될 과제
7. 이착륙보조장치
8. 종방향 안정성
9. 해군력증강활용방안
10. 결 론

1. 서 론

현재 화물수송은 선박과 항공기가 주류를 이루고 있다. 항공기의 경우 화물수송속도는 빠르지만 고가이기 때문에 대량화물의 수송에 비경제적이라는 단점이 있으며 선박의 경우에는 저가로 대량화

물의 수송에 적합하지만 운송속도가 저속이다라는 단점이 있다. 이러한 양자의 단점을 보완하기 위해 해상교통수단의 고속화를 위한 여러 가지 연구와 개발들이 전세계적으로 이루어지고 있다. 그 결과 다양한 고속선, 신형식선들이 개발되고 있으며 일본의 TSL 프로젝트는 1,000톤의 화물을 싣고 시속 100km의 속력으로 달리는 초고속 화물선을 개발하는 것이다.

선박의 고속화 한계는 자유수면의 존재로 인한 급격한 조파저항의 증가 때문이며 이러한 조파저항을 감소시키기 위해 선체를 세장화하던지, 물 속으로 잠수시키던지, 아니면 자유수면위를 항주하는 방법이 있다.

그림 1.1은 속력의 증가에 따른 해상수송수단의 변화를 보여주고 있다. 배수량형 선박으로부터 공기부양선까지 다양한 선박의 형태가 개발되었으며 현재까지 개발된 가장 빠른 민수용 선박은 일본의 TSL-A인 표면효과익선(Surface Effect Ship)으로서 시속 100km를 지향하고 있다. 수상정이나 비행기는 시속 400km이상의 속력을 가진다.

100~400km/h의 속도영역에서의 실용화된 해상수송은 아직 개발되어 있지 않고, 최근 해면효과익선(Wing in Ground Effect Craft)이 이 영역에서 운항될 초고속 해상수송수단으로 주목을 받고 있다.

해면효과익선이란 항공기가 지면 혹은 해면 위를 낮게 비행할 때 양력의 증가와 유도항력의 감소로 양항비가 급격히 증가하여 경제적으로 시속

기술보고 | 해면효과익(WIG)선의...

100~500km의 속도 범위에서 해면위를 낮게 비행하는 선박을 의미한다.

해면효과익선 개발 역사는 70여년이나 되지만 80년대말 구소련 공산체제가 무너지면서 러시아에서 개발된 해면효과익선(러시아어로 Ekranoplan)이 서방세계에 알려지면서 차세대 초고속 해상수송수단으로 재조명되고 있다. 러시아에서 개발된 해면효과익선들은 모두가 군사용이었고 냉전체제가 무너진 후 러시아는 물론 서방세계는 이들의 민수 및 상업적 이용으로의 전환을 모색하고 있으며 이미 몇 척의 민수용 소형 해면효과익선들은 개발되었다.

수면위를 낮게 비행하는 저공비행 능력, 100~500km/h의 속력으로 비행하는 기동성등의 여러 가지 장점들은 군사적 전술적 가치가 무한하기 때문에 군수용으로의 개발도 시도되고 있다.

국내에서도 1994년부터 해면효과익선의 기초연구를 시작으로 한국기계연구원과 조선 4사(현대, 대우, 삼성, 한진)의 콘소시움으로 소련으로부터의 기술도입등 해면효과익선 개발을 해오고 있으며 최근 산자부 공기관 기술사업 지원으로 삼성중공업에서는 중형해면효과익선 개발을 진행하고 있다.

본 논문에서는 해면효과익선의 특성, 개발현황, 경제성, 기술적 문제점 및 해결방안등을 알아보고 한국해군에서의 전술적 활용가치 및 활용방안에 대해서 언급하고 군수용 개발이 민수용에 미치는 파급효과에 대해서도 언급하였다.

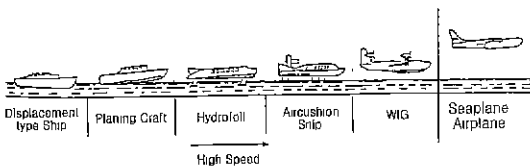


그림 1.1 Transition of transporter with speed (taken from Ref.[2])

2. 해면 혹은 지면효과란 ?

날개가 지면(해면) 가까이 비행할 때 날개 끝에

서 생성되는 tip 보오텍스(vortex)가 지면에 의해 억제되어 유기항력(induced drag)이 감소하고(그림 2.2, 2.3참조) 또한 날개와 지면과의 사이에서 유속의 정체로 인한 압력증가(RAM압이라고 함, 그림 2.1참조)로 인해 양력이 증가하는 현상을 지면효과라 한다. 이러한 현상 때문에 일반 비행기가 지면에 접근하여 비행할 때는 양항비가 증가하여 연료소모율이 감소하여 경제적이다라는 것이다.

지면효과익기(Wing In Ground Effect Craft)를 설계하기 위해서는 또다른 2가지 지면효과를 이해해야 된다. 하나는 채널(channel)효과이고 다른 하나는 하향흐름(down wash)의 감소이다. 채널효과는 날개가 지면에 접근하면 오히려 속력이 급격히 증가하는 벤투리(venturi)효과를 의미하며 일반 날개의 경우 양각이 0°에서는 지면에 접근하더라도 양력증가가 없으며 음의 양각에서는 오히려 양력이 감소한다. 따라서 지면효과익기 주익의 붙임각은 0°보다 커야되며 2° 이상이 되는 것이 효과적이다.

무한 유체층을 전진하는 날개는 하류방향으로 하향흐름을 발생시킨다. 이러한 하향흐름은 날개의 유효받음각을 감소시켜 양력을 감소시킨다. 그러나 날개가 지면에 접근할 때는 지면의 존재로 인해 이러한 하향흐름이 억제된다. 따라서 지면효과익기의 꼬리날개는 이러한 하향흐름의 변화 때문에 모멘트 변화를 초래하여 지면효과익기의 종방향 안정성에 큰 영향을 미친다. 따라서 지면효과익기의 꼬리날개는 지면효과익기의 양항을 받지 않는 고도 범위에 두는 것이 바람직하다.

날개가 지면이 아닌 해면위를 낮게 비행하는 경우 날개의 존재에 의한 해면의 변위는 무시할 수 있다는 시험 및 계산결과가 발표 되었으며 따라서 지면 혹은 해면효과를 병용해서 사용해도 무방하다고 본다.

3. 용 어

해면효과익선의 용어는 각 나라마다 여러 가지

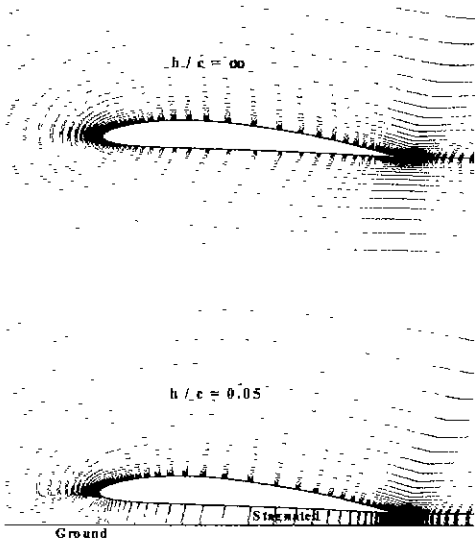


그림 2.1 Velocity distribution of NACA4412 ($\alpha = 5^\circ$) with and without the ground ($Rn = 2.0 \times 10^6$)

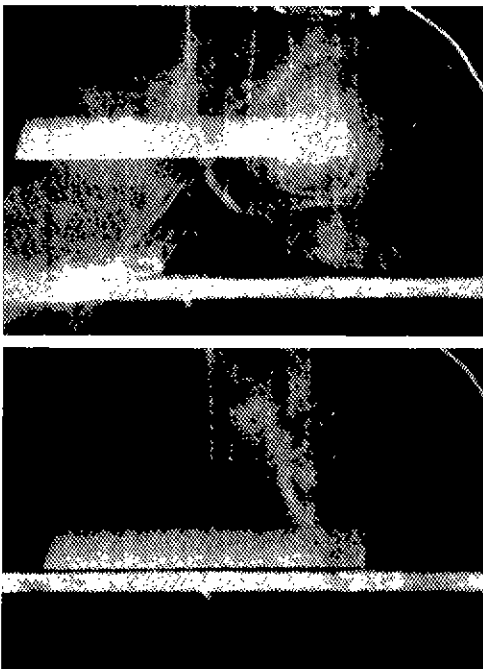


그림 2.2 Tip Vortex generated by a NACA6409 ($H/C = 0.5$ and 0.05), taken from [1]

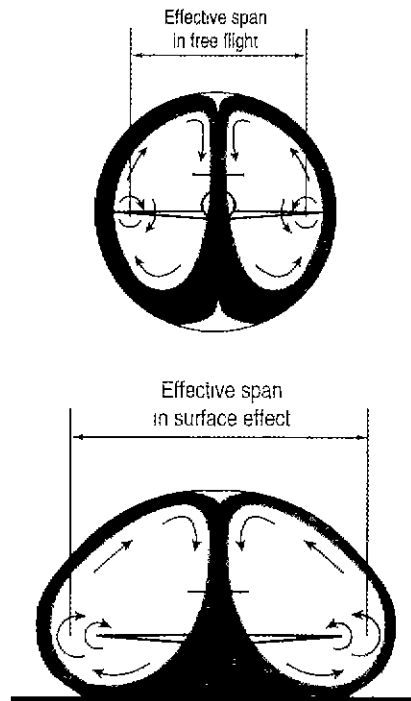


그림 2.3 Ground or surface effect alters the cross-section of the mass of air being worked on by a wing, increasing the effective span and aspect ratio, so reducing lift-dependent (induced) drag, taken from [3].

로 불리고 있다: GEM(Ground Effect Machine), WIG(Wing in Ground), RAM Wing, Ekranoplan, Flying Ship (飛船), Wing Ship, Air Ship, WIG Ship(Craft) 및 해면효과익선(Wing in Ground Effect Ship, WISES).

지면효과는 수면이 아닌 지면에서 최초로 발견되었기 때문에 지면효과를 이용하는 기계를 통틀어서 GEM으로 불려졌다. WISES라는 해면효과익선은 일본에서 붙여진 이름이고 중국에서는 날으는 선박(飛船)으로 불려지고 있다.

해면효과익선의 개발이 가장 앞선 러시아에서는 Ekranoplan으로 부르고 있으며, Ekran은 표면을

기술보고 | 해면효과익(WIG)선의...

뜻하는 screen 또는 curtain 이고 plan은 airplane 을 뜻하는 러시아 두 단어의 합성어이다. 참고로 1996년 호주에서 열렸던 해면효과익선 국제 심포지움[5]에서 참석자들에게 설문조사를 한 결과 80% 이상이 Ekranoplan으로 부르는 것을 선호하였다. 이는 해면효과익선의 개발의 선두주자인 러시아에게 그 간의 노고에 감사를 드리는 예우적 차원이었다고 저자는 해석하였다.

국내에서는 표면효과익선, 해면효과익선, WIG선 등으로 불리고 있으나 저자는 영어로는 WIG Ship(Wing in Ground Effect Ship)으로 쓰고 해면효과익선 혹은 WIG선으로 부르기를 권장하고 싶다. 본 논문의 이후부터는 해면효과익선이라고 통일하여 부른다.

4. 역사적 발전 및 개발 현황

해면효과익선의 역사는 70여년의 긴 시간을 가지고 있으며 일본의 Kubo 교수[8]는 3기의 개발 시대로 구분하였다. 이러한 시대 구분은 엄밀한 것도 아니고 나라와 상황에 따라서 중복될 수 있지만 상당한 타당성이 있다고 생각되어 저자도 그렇게 구분하였다.

4.1 제 1기 (1930~1960) : 요람기

지면 가까이에서 날개의 성능이 향상되는 것은 이미 릴리엔탈의 글라이더 시험비행으로 알려져 있었다. 56톤의 수상비행기 Dornier DO-X는 1930~1931년 대서양 횡단시 연료를 절약하기 위해 해면효과를 이용한 것으로 보고되었다[31]. 이것이 본격적으로 연구된 것은 1930년경부터이며 1차원적인 이론해석과 풍동시험 연구결과들이 발표되었다.

1935년 핀란드의 공학자 Kaario가 지면효과를 이용한 1인승 날개가 달린 썰매를 만들어 22km/h의 속도로 눈위를 달린 것이 해면효과익선의 기원이 되어 있고, Kaario는 일생동안 이 분야에 많은 연구 및 설계들을 통하여 큰 기여를 한 것으로 평

가받고 있다.

해면효과익선의 초기개발시대는 육상 이착륙 항공기의 현저한 성능향상에 수상비행기가 육상비행기에 의해 밀려나는 시기였다. 수상비행기가 육상비행기에 의해 밀려난 이유는 수상비행기의 이륙속도의 한계 때문이다. 즉 항공기의 최대/최소 속도의 비는 통상 4정도이고 이것을 대폭적으로 크게 하는 것은 곤란하다.

최대속도 400km/h의 비행기의 경우 실속속도는 약 100km/h, 이륙속도는 약 120km/h 정도이다. 그러나 최고속도 800km/h로 되면 이륙속도는 240km/h로 되기 때문에 파도가 있는 수상에서의 이륙을 불가능하게 한다. 일반적으로 부드러운 해면에서도 수상비행기의 이륙한계 속도는 120km/h로 알려져 있다.

고속비행기의 경우 익면하중(Wing loading)이 높아져서 익면적을 적게할 수 있기 때문에 저항이 감소하고 구조중량은 상대적으로 가볍게 할 수 있다. 또한 항공기의 경우 착륙 장치의 경량화등으로 인한 구조중량의 추가적인 감소로 인해 수상비행기는 경쟁에서 밀려 날 수밖에 없었다.

4.2 제 2기 (1960~1985) : 군사개발기

이 시기에는 세계적으로 항공회사가 모두 해면효과익선의 개발에 착수하였다. 미국의 록히드, 보잉, 맥도날 더글라스에서 연구를 하였다. 하지만 1963년 Lippisch에 의해 개발된 역삼각형 주익을 가지는 X-112가 제작된 것 외에는 미국에서의 개발 모델들은 알려지지 않고 있다.

70년대 이후 미국에서는 사실상 해면효과익선에 대한 연구 및 개발들을 중단되었다고 알려졌다. 이에 대한 원인으로 "해면효과익선의 큰 결점 혹은 기술적 어려움 때문에 미국에서의 개발이 중단되었는가"라는 저자의 질문에 Hooker는 "60년대 이후 미국은 해면효과익선 개발을 심각히 고려하였으나 그 당시 주변환경을 고려하여 고속 대형화 수상정을 공기부양선에서 표면효과선(SES)으로 설

정하고 이 방향으로 간 것이 주원인이며 큰 결점이나 기술적 어려움이 있었던 것은 아니다” 라고 답하였다[30].

이후 독일의 RFB(Rhein Flugzeugbau GmbH)에서 Lippisch의 특허권을 인수하여 1977년까지 X-113, X-114를 개발하였다. 한편 독일의 Jörg는 독자적으로 Tandem형의 날개를 가지는 TAF series를 1970년초부터 개발하여 지금까지 계속적으로 개발하고 있다.

일본에서는 가와사키 항공에서 Ando교수와 공동으로 1963년 KAG-3를 개발하였다.

중국에서는 중국선박과학연구중심(CSSRC)에서 1967년부터 해면효과익선에 대한 연구를 하였으며 1인승 시험선인 961모형을 1969년, 역시 1인승 시험선인 902모형을 1983년에 제작하였다.

구소련에서는 1961년 2.83ton의 중량을 가지는 SM-1을 시작으로 소련공산체제가 무너지는 시점까지 최대 540톤의 이륙중량을 가지는 KM시험선, 유도탄함 Lun 및 구난선 Sparatel 등 수많은 해면효과익선을 개발하였다. 러시아 개발 역사는 4.4절에서 자세히 다루었다.

4.3 제 3기 (1985~) : 민수개발기

80년대말 구소련 공산체제가 붕괴하면서 러시아의 해면효과익선 개발이 서방세계에 알려지면서 해면효과익선의 개발이 다시 활발해지기 시작했다. 1995년부터 매년 연속적으로 개최되었던 해면효과익선 국제 심포지움[4, 5, 6, 7]이 그 열기를 반영하고 있으며 논문집들로부터 최근 개발내용 및 동향들을 파악할 수 있다.

일본에서는 미쯔비시 중공업(주)의 후원으로 Kubo교수가 레저용인 μ -sky I 과 II를 1990년에 개발하였다. 또한 선박연구소(SRI)에서는 1991년부터 5년 동안 해면효과익선의 민수화 타당성에 관한 연구를 수행하였다.

독일에서는 Fisher의 Airfish 시리즈를 비롯하여 80인승을 축소하여 만든 시험배 Hovering 형

태인 HW-2VT, 수중익을 가지고 있는 Hydrowing WT-01 이 있다. Jörg는 탄뎀시리즈의 대형화로 계속적인 개발을 하고 있다.

호주에서는 Rada社가 Sea Wing 02 와 Rada G-35가 제작되었고, 프랑스에서는 Navion 이라는 시험선을 만들었다.

중국에서는 CSSRC에서 XTW I 와 XTW II에 이어 20인승 XTW III을 건조하여 시운전중에 있으며 MARIC에서도 15~20인승의 건조를 마치고 시운전 중에 있는 것으로 알려지고 있다.

유럽에서는 유럽 12개국 콘소시움으로 Seabus-Hyder 프로젝트명으로 1998년부터 승객 800명, 자동차 100대를 운반하는 대형해면효과익선의 개념설계를 수행하고 있다.

미국에서는 1991년부터 5년동안 미국방성의 예산으로 미국-러시아 공동프로젝트로 재화중량5,000톤과 운항속력 800km/h의 대형해면효과익선의 경제성 검토를 수행한 바가 있다.

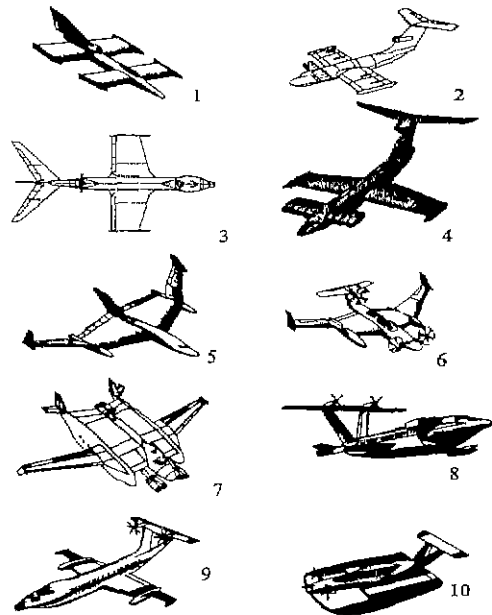


그림 4.1 Examples of Russian GEMs (taken from Ref.[24])

기술보고 | 해면효과익(WIG) 선의...

표 4.1 Principal dimensions of WIGs developed worldwide

Name	Overall Dimension (L×B×H)	Max Displacement (Ton)	Cruise Speed (Km/h)	Power (h.p)	Cruise Height (m)	Range (km)	Wing A.R.	Country
TAF VII-3 Jörg I	6.2×4.1×1.55	0.7	110	70 hp	0.1	200		Germany
TAF VIII-1 J rg II	8.3×3.28×1.75	0.74	125	65 hp	0.12	200		Germany
TAF VIII-2 J rg IV		1.7	135	147 kw	0.17			Germany
TAF VIII-3 J rg VI	14×5.85×3.3	3.15	145~160	550 hp	0.4	400		Germany
X-112	7.6×5×1.9	0.327	125	19 kw			1.26	USA
X-113 Am	8.43×5.89×2	0.36	160	38 hp			1.7	Germany
X-114	12.8×7×2.9	1.5	200	200 hp		2150	1.7	Germany
VT-01 Hydrowing	9.87×7.77×2.93	0.915	120	2×44 kw	0.4		2.23	Germany
HW-2VT Hoverwing	10.63×10.62×2.5	0.9	100	80 kw	0.75	200		Germany
Flarecraft L-325	9.45×7.92×1.83	1	120	172 kw	0.3~2	400		USA
Ram Wing 902	9.55×5.8×?	0.385	120	2×20 hp	0.6			China
XTW-1	12.6×8.2×3.3	0.95	100~130	2×40 hp	0.6~1	400		China
XTW-2	18.5×12.72×5.14	3.6	150~180	2×300 hp	1~1.5	900		China
MARIC 751	8.47×4.8×2.34	0.745	130	4×30 hp	0.5~0.7	130		China
Sea Wing 02	11.5×10×2.4	2	200	6×61 kw		1135		Australia
μ - Sky - 1	4.4×3.5×2	0.295	70	48 kw				Japan
μ - Sky - 2	5.95×4.32×2.7	0.4	80	48 kw	0.5			Japan
KAG-3	5.88×6.14×1.63		85			0.6		Japan
Seagull	7.93×4.82×2.46	1.03	30 knots	2×60 hp	0.05		0.9	Korea

한편 러시아에서는 군수용 개발 기술을 충분히 활용하여 민수용 해면효과익선 개발을 시도하여 5~8인승인 Volga II 와 Amphistar 등 소형정을 제작 운항하고 있다. 대형 해면효과익선의 설계는 발표되고 있으나 자금지원과 수요자가 없는 관계로 제작은 되지 않고 있다.

그외 호주, 미국, 한국 및 대만등의 여러 나라에서 소련으로부터의 기술도입 혹은 기술협작으로 민수용 개발을 시도하고 있으나 여러 가지 어려운 점이 있는 것으로 보고되고 있다. 표 4.1은 러시아를 제외한 세계 각국에서 건조된 해면효과익선의 주

요제원을 보여주고 있다.

4.4 소련/러시아 해면효과익선 개발

1960년대부터 러시아는 수중익선설계 및 건조국(Hydrofoil Design and Construction Bureau)의 R. Alexeyev의 주도로 소련공산체제가 붕괴될 때까지 이륙중량 2톤~540톤급의 크고 작은 Ekranoplan을 개발, 건조하여 독보적인 기술력과 실전운용 능력을 보유하고 있었다. 따라서 해면효과익선의 역사는 곧 러시아의 개발 역사라고 보아도 무방할 정도다.

표 4.2 Principal dimensions of Russian WIGs already built

Name	Overall Dimension (L×B×H)	Max Displacement (Ton)	Cruise Speed (Km/h)	Power (h.p)	Cruise Height (m)	Range (km)	Wing A.R.	Country
SM-1	20×10.3×1.5	2.83	170~270	4×0.12	0.5		bow 1.26 stern 1.35	Russia
SM-2	20×11.5×1.5	3.2	160~270	2×0.9	0.5		bow 1.73 stern 2.0	
SM-2P7	19.4×19.5×1.5	6.3	130~270	2	1		2	
SM-3	14.5×8.9×1.3	3.4	140~180	1	0.5		0.48	
SM-4	20×15.7×1.96	4.8	140~230	bow 2 stern 1	0.7		2	
SM-5	18×19.4×1.52	7.3	140~230	bow 2 stern 2	1.2		2	
SM-6 (Duck)	31×14.8×7.85	26.5	350	bow 2.1 NS 3750 hp	1	700	2.8	
SM-8	18.5×19.4×1.52	8.1	220	bow 2 stern 2	1.2	120	2	
SM-9	11.14×9.85×2.75	1.75	120				5	
KM	98×38×22	540	430	bow 8×9.5 stern 2×10.5	3.5	1500	2	
Orlyonok (Eaglet)	58×31.5×16	110	400	bow 2×10.5 NS 15 t	1.5	2000	3	
Lun (Sea-harrier)	73×45×20	380	450~550	bow 8×13.5	2.5	2000	3	
Spastel	73×45×20	390	550		2.5	3000	3	
Strizh	11.4×6.6×3.6	1.63	175	2×160 hp	0.5	500	3	
Eska	7.55×6.9×2.5	0.45	110	22 kw	0.3~1.5	350		
Volga-2	11.6×7.6×3.32	2.7	120	2×150 hp	0.5	500	0.9	
Amphistar	10.44×5.92×3.35	1.6	130	220 hp	0.5	600	0.8	

표 4.2는 러시아에서 건조된 중요한 해면효과익선들의 이름과 제원들을 보여주고 있다. 그림 4.1은 러시아에서 개발된 중요한 해면효과익선들의 형상들을 보여주고 있으며 시대별 형상의 흐름도 파악할 수 있다. 그림에서 1은 1960년초 Alexeyev에 의해 개발된 탄뎀형이고 2는 역시 Alexeyev에

의해 설계되고 1967년 건조된 유명한 카스피안 괴물 KM이다. 3은 기습상륙정 Orlyonok로서 Alexeyev와 Sokolov에 의해 설계되고 1972년 건조되었다. 4는 Kirillovkh에 의해 설계되고 1987년 건조된 유도탄함(Missile Launcher)인 Lun이다. 5~6은 Flying 날개(wing)와 복합(composite)

기술보고 | 해면효과익(WIG)선의 ...

날개 형상을 가지는 제 2세대 해면효과익선으로서 개념설계는 수행하였으나 건조는 되지 않았다. 8과 9는 MPE(Marine Passenger Ekranoplan)200과 MPE 400으로서 여객수송기인 민수용으로서 역시 개념설계를 수행하고 건조는 되지 않은 상태이다.

10은 PAR(Power Augmented Ram)와 S형 날개 단면을 이용한 새로운 형태의 소형 민수용으로서 Dr D. Synitsin(Alexeyev의 동료이자 후계자)에 의해 설계되고 Amphistar란 이름으로 1997년 건조되었다. 비슷한 시기에 먼저 건조된 Volga 2도 있으며 모두 130km/h의 운항속력과 600km의 항속거리를 가지고 있으며 파도가 없는 내륙 호수용으로 개발되었다.

다음은 군사용으로 개발된 대형 해면효과익선의 개략적인 특성을 언급한다.



KM(Caspian Sea Monster)

1965년도에 제작된 총 길이 100 m의 대형 시험선으로 카스피해에서 비밀리에 운항되다가 70년대 초 서방의 군사위성에 의해 포착되어 “카스피해의 괴물”이라는 이름으로 알려졌다. Boeing 747이 나오기 전인 60년대 말까지는 비행하는 물체로서는 가장 컸었다. 종방향 안정성을 위해 큰 상반각(Dihedral Angle)을 갖는 거대한 꼬리날개를 가지고 있으며, 전방에 총 8개의 Dobryin VD-7 Turbofan엔진과 순항시의 가속을 위해 꼬리날개 부근에 2개의 Turbofan엔진을 장착하였다. 최대속력 500km/h, 순항속력 430km/h. 항속거리 1,500km, 순항고도 4~14m, 최대이륙 중량 540톤. 엔진출력 20,000hp 이다. 이러한 거대한 무게와 크기에도 불구하고 KM은 순수히 시험선으로 사용되었다. 왜 이처럼 거대한 시험선이 필요했을까?

이에 대한 답은 그 다음에 개발된 기습상륙함 Orlyonok와 유도탄함 Lun의 건조로부터 얻을 수 있다. 당시 동서 냉전상태에서 미국의 강대한 해군력에 대항하기 위해서 이러한 특수 목적의 함정을 서둘러 건조하기 위한 기술축척 및 실천 시운전 경험 등의 필요 때문으로 추측된다.

Orlyonok (Coast Assaulter)



1972년 건조된 기습상륙정으로 총 5대가 건조되어 1979년에 처음 러시아 해군에 인도된 것으로 알려져 있다. 해상에서 장시간 대기하거나 선박처럼 저속으로 운항할 수 있으며, 전방에 2개의 NK-8-4K Turbofan엔진으로 PAR를 이용하여 해안으로 상륙할 수 있고 또한 파고 2.0m에서도 이륙할 수 있다. 운항시에는 꼬리날개부근에 부착된 Contra Rotating Propeller를 갖는 NK-12MK Turboprop 엔진을 사용한다. 전장 58m, 이수중량 110톤, 최대속력 400km/h, 순항고도 0.5~5m, 항속거리 2,000km이다. 수송능력은 15톤이나 무장병력 150명이다.

Lun (Missile Launcher)

1987년 건조된 유도탄함으로서 6기의 SS-N-22 대함 미사일을 장착할 수 있다. 길이 73.8m, 최대이륙중량 380톤, 운항속력은 450~550km/h, 항속거리 2,000km, 화물 탑재량은 137톤이다. 순항고도는 1~5m이고, 파고 2.5m에서 이착수 가능



하고 이수시 활주거리는 3.5km로 알려져 있다. 전방에 8개의 NK-87 Turbofan엔진이 부착되어 있고 동체 앞쪽에는 파도에 의해 발생하는 스프레이(Spray)가 엔진 안으로 유입되는 것을 막기 위한 Chine이 있으며, 레이더는 동체의 nose부분에 설치되어 있다.

Spasatel (해상구조정)



1989년 4월 구소련의 핵잠수함 Komsomolets가 노르웨이 근방의 공해상에서 사고로 침몰한 후 사고장소에 구조팀이 도착한 것은 사고후 7시간이 지난후였고 이때는 이미 42명의 승조원들이 모두 사망한 후였다. 사고지점은 러시아에서 720km 떨어진 곳이었고 Lun이 사고장소에 투입되었다면 2시간이내에 도착하여 구조작업을 할 수 있었던 거리였다. 이후 신속한 해상구조정의 필요성이 대두되어 Lun을 해상구조용으로 수정한 것이 Spasatel이다. 2.5m의 파도속에서도 이착수가 가능하며, 80개의 침대와 500여명의 조난자들을 수용할 수 있으며, 5일 동안 외부의 지원없이 단독

으로 구조활동을 할 수 있는 능력을 갖추고 있다고 보고되었다.

Lun의 미사일 탑재부분을 제거하여 해상구조정으로 개조한 것으로서 제원은 Lun과 동일하고 항속거리를 3,000km로 증가 시켰다. 하지만 경제난으로 인해 소련공산체제가 붕괴될 즈음에 몇몇 외 부공사만 남겨두고 제작은 중단된 것으로 알려져 있다.

4.5 국내 개발 현황

국내에서는 1994년부터 대학에서 이론적 및 풍동시험에 의한 연구가 시작된 이후 많은 연구 결과들이 발표되고 있다[9, 10, 11]. 또한 부산대학교에서는 20인승을 설계하고 축소한 무선조종 시험선[12]이 건조되어 성공적인 시험을 마쳤다(그림 4.2 참조).

1995년에는 한국기계연구원 선박해양공학 연구센터(KRISO)가 주관해서 국내 4대 조선업체(현대, 대우, 삼성, 한진)와 해면효과익선 개발을 위한 컨소시엄을 형성하고 러시아의 해면효과익선 기술 조사 사업을 추진한 바 있다[13].

KRISO에서는 20인승의 소형해면효과익선을 설계하고[14] 풍동시험을 거쳐[15] 1인승 시험선 Seagull을 건조하여 성공리에 시험비행을 마쳤다[16].



그림 4.2 부산대학교에서 설계 제작된 20인승 무선조종 시험선의 항주 모습

기술보고 | 해면효과익(WIG)선의...

국내의 조선업계에서는 중형이상의 해면효과익선이 상업적인 경쟁력을 가지고 있다고 생각하여 산자부의 공기반 사업으로 삼성중공업(주)에서 200인승 개발을 98년부터 진행중에 있다.

5. 경제성

한 운송시스템의 경제성을 직접적으로 판단하기는 어렵다. 기준이 무엇이나에 따라서 달라질 수 있으며 목적과 용도에 따라서 가치기준은 변하기 때문이다.

운송시스템의 경제성 비교에 자주 인용되는 인자는 운송효율(Transport Efficiency) 혹은 양항비, 재화중량과 총중량과의 비 및 연료 소모율 등이 있다. 운송효율(Transport Efficiency)의 역수는 양항비의 역수로서 1톤의 화물을 매시 1km로 운동할 때 필요되는 마력으로 정의한다. 그림 5.1은 여러 가지 운송시스템에 대한 운송효율의 역수를 보여주고 있으며 1950년도에 제시된 Karman-Gabrielli의 한계선도 보여주고 있다. 그림에서 종축의 값이 작은만큼 효율이 좋아지는 것을 나타낸다. 왼쪽 아래부분에 있는 일반선박의 경제성이 얼마나 뛰어난가를 알 수 있다. 고속이 되면 경제성이 떨어지는 것은 당연하며 해면효과익선은 시속 1,000km 정도의 제트비행기와 각종 선박의 속도 한계인 시속 100km 사이의 중간영역의 속도 범위에서 Karman-Gabrielli의 한계선에 가까이 분포해 있음을 알 수 있다. 그림에 있는 해면효과익선은 소련에서 개발된 군사용으로써 경제성을 고려하지 않은 비효율적인 설계로 알려져 있으므로 최근에 설계되는 해면효과익선들은 효율이 크게 향상되는 것으로 알려져 있다.

쌍동선, 수중익선 및 공기부양선들은 경제성이 상당히 떨어지고 있음을 알 수 있고 일본에서 개발된 1,000톤의 화물을 싣고 시속 약 90km의 속도로 항주하는 TSL-A는 재래의 초고속 수송수단의 경제성을 크게 향상시키고 있음을 알 수

있다.

비행기와 초고선의 중간 영역의 속도에서는 철도 운송수단이 경제성이 있음을 알 수 있으며, 이러한 육상운송수단에 필적할 해상수송수단으로의 해면효과익선을 개발할 필요가 있다고 본다. 항공기는 증량당 단가가 높은 물자의 장거리 수송에 유리하고 경제속도는 600km/h 이상인 것으로 알려져 있다. 따라서 100~600km/h의 속도범위에서 운항거리 1,000~5,000km의 영역에서 화물중량 100~200톤을 가지는 해면효과익선은 시장수요는 물론 경제

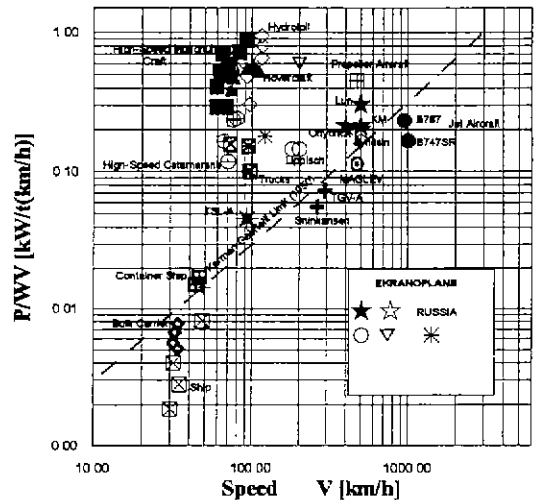


그림 5.1 Reverse Transport Efficiency of Ekranoplans as Compared with Other Transport Vehicles(taken from Ref.[25])

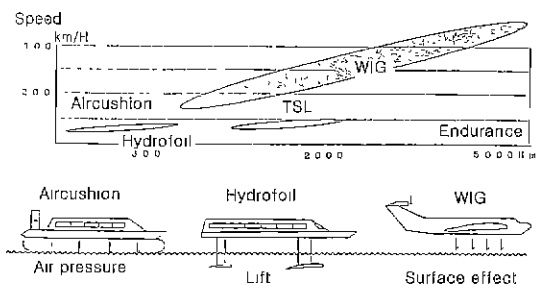


그림 5.2 Speed and endurance with high speed marine crafts(taken from Ref.[2])

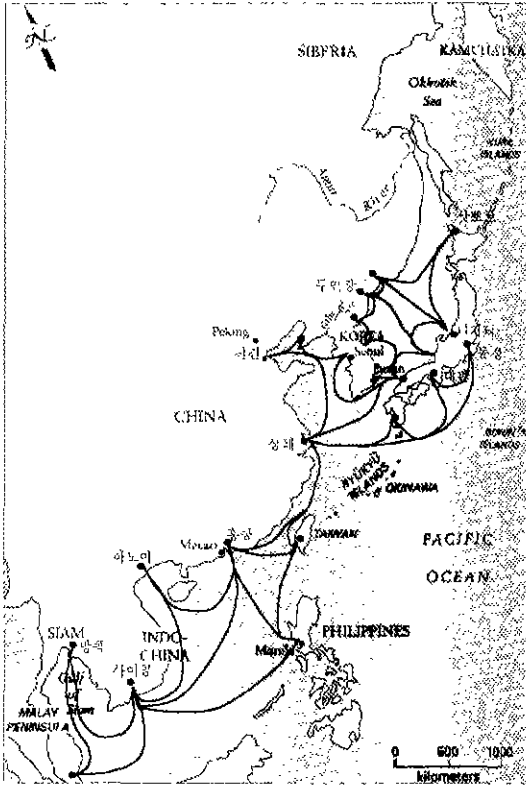


그림 5.3 아시아의 경제 발전 지역과 필요한 해상 수송로

성이 있는 것으로 생각된다(그림 5.2 참조).

그림 5.3은 아시아에서 경제가 현저히 발전된 지역의 주요 항구들을 연결하는 해상수송로이며 각 지역간의 거리는 800~1,200km정도이다. 이 지역간의 해상화물(승객)수송을 항공기보다 낮은 가격으로 실현하면 아시아 지역의 경제발전에 크게 기여하리라 본다. TSL의 화물적재량은 1,000톤으로서 너무 수송량이 많고 속도도 90km/h로서 13~15시간이 소요되어 비행기에 비해 너무 저속이다. 따라서 이 구간의 운항시간을 2~3시간대로 줄이면서 100톤 정도의 화물을 운반하는 해면효과익선은 충분한 시장성과 경제성이 있을 것으로 생각된다.

또 다른 중요한 경제성 평가지수는 재화중량과 총중량과의 비이다. 즉 단위 중량당 얼마나 많은 화물(승객)을 운송할 수 있는가 이다. 그림 5.4는 이 지수를 보여주고 있으며 구조적 중량이 비교적 무겁다고 알려진 러시아의 해면효과익선이 프로펠러와 제트비행기에 대응할 수 있음을 보여주고 있다. 앞으로 구조중량을 보다 더 줄일 수 있다면 경쟁력이 더욱더 제고 될 수 있다고 본다.

6. 해면효과익선의 장점과 해결해야 할 과제

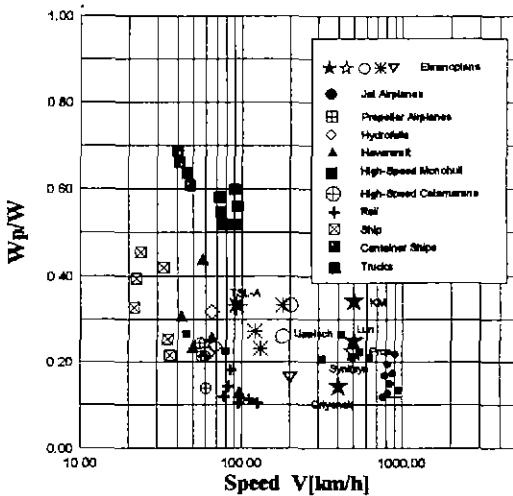


그림 5.4 Payload Ratio versus Speed

그림 6.1은 해면효과익선의 운항모드와 예상되는 문제점들을 보여주고 있다. 해면효과익선이 대부분은 바다에서(선박처럼 생활하며) 이륙을 해서 해면 위를 낮게 항주 할 때는 날아가는 비행기와 같다. 때로는 선박과 같은 장애물을 피하기 위해서 우회(detour)하거나 고도를 높일 필요도 있다. 육지로 상륙하기 위해서는 별도의 상륙(amphibian) 기능을 보완해야된다. 따라서 해면효과익선을 선박 혹은 비행기로 분류되느냐에 따라서 적용 받는 법규가 다른데 이는 건조가격, 운항유지비 등에 있어서 큰 차이를 가져온다.

해면효과익선이 비행기인가 선박인가의 문제는 국제해사기구(IMO)와 국제민간항공기구(ICAO)

기술보고 | 해면효과익(WIG)선의 ...

의 협의에 따라 그림 6.2에 보여주는 바와 같이 3가지 형태로 분류된다[17].

A형은 해면효과를 벗어나서 비행할 수 없는 선박이고 B형은 장애물등을 넘기 위해서 제한된 시간과 고도 범위내에서 해면효과익선의 관성력으로 Jump-up에 의해 고도를 상승할 수 있는 형태로서 선박으로 분류된다. C형은 해면(지면)효과를 벗어나서 비행할 수 있으며 최대고도는 ICAO에 의해 제한 받으며 선박과 비행기로 분류되어 IMO와 ICAO의 규정을 따라야 한다. 일반적으로 해면효과익선이라 함은 A와 B형을 의미하며 따라서 선박으로 분류된다.

해면효과익선은 해면효과를 이용하여 낮은 출력으로도 비교적 고속 항해가 가능하므로 경제성이 뛰어나다. 따라서 항공기나 선박에 비해 경제성 측면에서 많은 장점을 갖는다. 항공기의 경우, 속도는 빠르나 운송비가 너무 높고 선박의 경우, 운송비는 낮으나 그 속도가 너무 느리다는 단점을 갖고 있다. 그러나 해면효과익선은 항공기와 선박의 장점들을 살려 낮은 연비로 운송비를 낮출 수 있으며, 비교적 고속으로 운항 할 수 있다. 또한 해면효과익선은 항공기나 공기부양선보다 구조가 훨씬 간단하고 제작비용이 싸다. 더욱이 해면효과익선의 조종은 주로 2차원적이므로 3차원 운동을 하는 항공기와는 다르다. 항공기의 보수, 유지, 관리를 하는데 어려움은 엔진관계의 복잡, 가동부의 많음, 구조의 취약 및 횡으로 길게 뻗은 날개에 있다. 엔진관계의 복잡함은 3차원 운동과 고도변화에 따른 급격한 외부환경 변화에 대응하기 위함이고 가동부의 많음은 운항 고도의 변화 및 저속비행을 함께 만족하기 위해서인데 해면효과익선에는 불필요하다. 실제 군사용이나 대형의 해면효과익선이 아닌 몇몇 상용 해면효과익선의 경우 자동차 엔진을 개조하여 사용하기도 하며, 모터보트를 몰수 있는 정도면 누구나 조종이 가능한 것도 있다. 그리고 항공기와는 달리 수면에서 이착수하기 때문에 활주로와 지상의 대기장소 등과 같은 많은 자금이 소

요되는 부대시설이 필요하지 않으며, 운항 장소에도 별다른 제약을 받지 않는다. 결국, 이러한 점에서 해면효과익선은 항공기에 비해 훨씬 낮은 비용에 보수, 유지, 관리가 가능하다. 또 다른 장점은 해면효과익선은 해안이나 큰 경사가 없는 육지로 상륙이 가능하다는 것이다.

안전성 측면에서도 해면효과익선은 우수한 특성을 가진다. 운항 중 엔진관계 등의 사고는 항공기의 경우 매우 심각한 위험을 의미하지만 해면효과익선의 경우 선박으로 전환 할 수 있으며, 최악의 경우 구조선이 도착할 때까지 물위에서 대기할 수

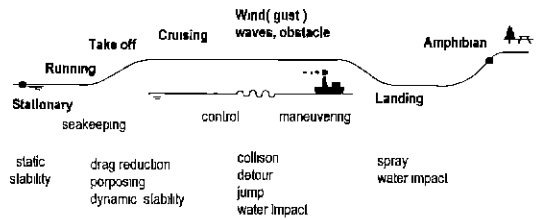


그림 6.1 Operational mode of WIG

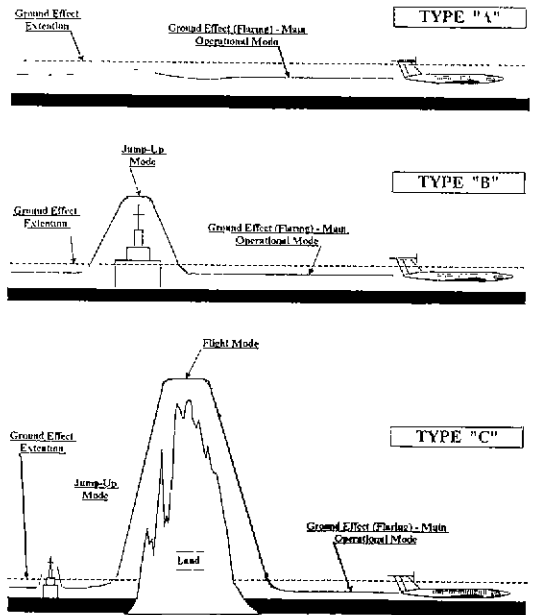


그림 6.2 WIG Craft Types and Operational Modes

있다. 이러한 안정성은 구조선이 수십 년간 많은 해면효과익선을 운항하면서 보여주었다. 또한 군사용으로도 가치가 높다. 레이더나 어떠한 전자탐지장치로부터 탐지하기가 어려워 러시아에서는 해안경비정, 강습해안상륙정이나 초고속 유도탄함등으로 활용되고 있다.

그러나 대부분의 경우 소금기가 있는 바다 위를 운항하기 때문에 이로 인한 부식문제와 엔진의 사용수명 단축, 증방향 안정성을 위해 큰 꼬리날개를 부착해야한다는 점, 이수시의 큰 험프(hump)저항으로 인해 순항시의 요구되는 것보다 큰 출력을 가지는 엔진이 요구된다는 단점도 있다.

무엇보다도 해면효과익선이 실용화 및 상용화되기 위해서는 높은 파도에서도 쉽게 이착륙이 가능해야 된다는 것이다. 아무리 경제성이 있고 효율이 뛰어나더라도 파도 때문에 운항율이 떨어지면 상업화에는 실패할 것이다. 해면효과익선을 대형화하면 이륙한계파고는 자동적으로 증가하여 해결할 수 있으나 2~3m의 파고에서도 소형해면효과익선의 이륙이 가능해야 된다고 본다. 따라서 고양력장치나 이륙보조장치의 개발이 필요하다고 보며 다음 절에 언급하였다.

7. 이착륙 보조장치

해면효과익선은 순항 시에는 해면효과에 의해 높은 양항비와 낮은 출력으로 운항 할 수 있지만 이수시 험프(hump)저항을 넘기까지는 높은 출력을 필요로 하기 때문에 필요이상의 큰 엔진을 장착해야하고, 이로 인한 구조무게의 증가로 그 효율이 감소하게 된다. 또 이수시 높은 험프(hump)저항을 극복하기 위해 선택한 엔진의 경우 비교적 낮은 출력이 소요되는 순항 시에는 이상적인 사이클(cycles)에서 작동하지 않을 것이므로 엔진효율 역시 나쁘게 될 것이다. 이는 해면효과익선의 대형화에 있어서 꼭 해결해야할 기술적 문제중 하나이다. 앞에서도 언급한 바와 같이 해면효과익선의 실용

화 및 상용화를 위해서는 소형도 2m정도의 파도에서 이륙이 되어야 한다. 따라서 고양력장치와 이륙 보조장치가 필요하다.

이에 대한 지금까지의 방안으로는 날개 밑으로 프로펠러의 후류를 붙여넣고 날개 끝단판(Endplate)과 플랩(flap)으로 이를 정체시켰을 때, 날개 아랫면에서 발생하는 압력상승을 이용하여 고양력화를 달성하는 방법인 PAR(Power Augmented Ram)-Type과 공기부양선(ACV)/표면효과익선(SES)의 기술을 사용하는 Hovering-Type, 수증익을 이용하는 방법 및 Hydroski를 이용하는 방법이 있다 (그림 7.1 참조).

그림 7.2는 20인승 해면효과익선 Seagull에 대한 PAR를 이용한 시험 결과[18]로서 제트분사속도(v_j)가 증가하고 플랩양각(α_f)이 증가하면 양력계수는 무려 4.0까지 증가하고 있음을 알 수 있기 때문에 PAR의 이용은 이륙을 쉽게 할 수 있고 경사가 완만한 해변으로도 상륙이 가능하게 한다. 보다 더 효율적인 방법은 그림 7.1에서 보여주는 방법들의 혼합형태도 생각할 수 있고 군사목적의 특수한 경우는 수직 이착륙(Vertical Take Off and Landing, VTOL)방법을 생각할 수 있다.

해면효과익선의 설계에 있어서 이착륙보조장치를 채용함으로써 얻을 수 있는 장점은 다음과 같다.

- ① 높은 파도에서도 이륙이 가능하다.
- ② 운항과정에서 최대출력이 소요되는 이수시의 험프(hump)저항을 줄임으로써 보다 마력이 작은 엔진의 사용이 가능하다.
- ③ 이수시의 고양력화로 날개의 면적을 줄일 수 있다.
- ④ 저속에서 부드러운 착수가 가능하게 되므로 수면과의 충격을 줄여 강도상의 이득을 얻을 수 있다.
- ⑤ 수륙양용이라는 기능을 갖게 할 수도 있다.
- ⑥ 맞바람인 경우 쉽게 RAM알을 얻을 수 있지만

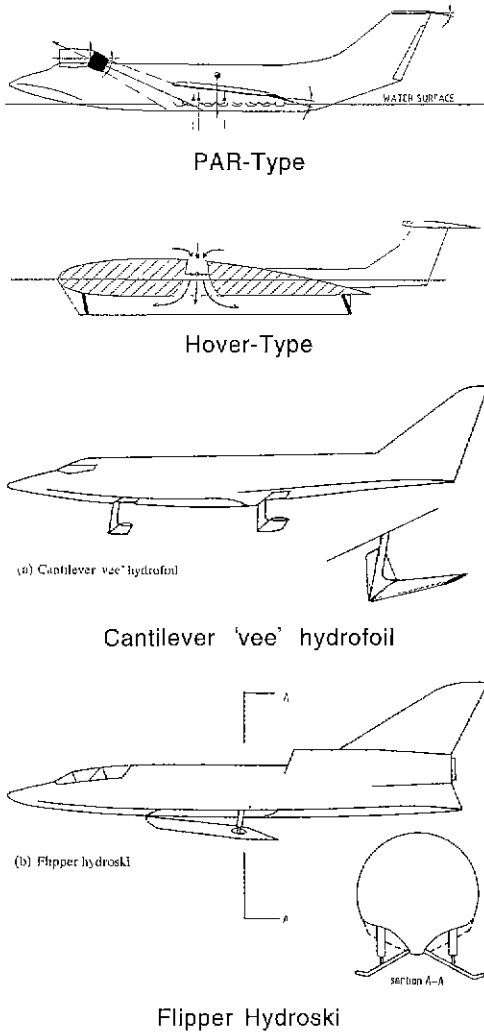


그림 7.1 양력증강 장치

후풍의 경우 RAM압의 형성이 어려워진다. 따라서 강압적으로 날개 아래로 프로펠러의 후류를 불어넣어 일정한 RAM압을 얻을 수 있으므로 바람의 방향에 대한 해면효과익선 성능의 민감성을 줄일 수 있다.

8. 종방향 안정성

안정성(Stability)은 선박이나 항공기의 설계에

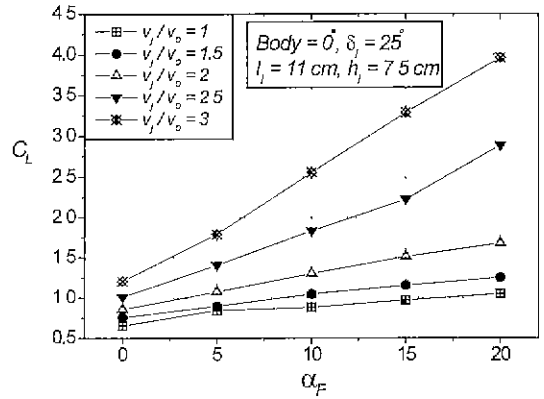


그림 7.2 C_L v.s. α_F for various jet velocity (taken from Ref.[18])

있어서 매우 중요한 요소이다. 더구나 해면효과익선의 경우 고속으로 수면가까이에서 운항하기 때문에 비교적 높은 안정성을 필요로 한다. 안정성이 부족한 경우 심각한 사고를 유발할 수 있으며, 반면 지나친 안정성은 해면효과익선이 조종에 대해서 둔한 반응을 갖게 한다. 일반적으로 종방향 안정성과 횡방향 안정성 사이에는 상관관계가 약하기 때문에 이들 둘을 분리할 수 있다. 해면효과익선은 항상 해면효과를 받으면서 운항하기 때문에 외부의 힘으로 인해 한쪽으로 기울어지는 경우, 수면가까이로 기울어진 날개 쪽의 양력이 급격히 높아지는 원리로 인해 본질적으로 횡방향 안정성을 가진다는 것은 이미 널리 알려진 사실이다.

해면효과익선이 얼마나 안정한가를 알아보기 위해서는 관성과 시간에 따른 효과를 무시하고 해면효과익선에 작용하는 힘과 모멘트의 평형만을 고려하는 정적 안정성을 먼저 평가하고 난 뒤, 관성과 시간의 효과도 고려한 동적 안정성을 해석해야 한다. 해면효과익선은 항상 고도의 변화에 대한 영향을 받으며, 이러한 고도에 대한 항공역학적인 힘들과 모멘트 값들이 모두가 비선형적이라는 관점에서 지면효과를 고려하지 않는 통상적인 항공기에 사용되는 정안정성 및 동안정성 조건들을 해면효과익선에 적용하는 것은 비현실적이다.

해면효과익선의 안정성에 관한 연구로는 Kumar[19], Irodov[20], Staufenbiel[21], Hall[22], Chang & Chun[28] 등이 있으며, 최근에 Delhay[23]는 Irodov, Staufenbiel 및 Hall에 의해 얻어진 해면 효과익선의 운동방정식들이 기본적으로 동일한 의미를 갖고 있음을 밝힌 바 있다.

8.1 종방향 정안정성

피치(Pitch) 안정성

우선 해면효과익선 역시 일반 항공기와 같이 피치에 대한 안정성을 반드시 가져야만 한다. 따라서 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$C_{m\alpha} < 0 \quad (1)$$

여기서 C_m 은 모멘트 계수, α 는 양각(Angle of attack)을 의미하며 아래첨자는 미분을 의미한다.

고도(Height) 안정성

해면효과익선의 경우, 피치에 대한 안정성 조건을 만족하더라도 고도에 대한 추가적인 안정성 조건이 필요하다. Irodov[20]와 Staufenbiel[21]은 날개가 피치운동 없이 고도의 교란을 받을 때 고도에 대한 안정성을 갖기 위한 조건은 고도(z)에 대한 양력계수(C_L)의 기울기가 음(-)의 값이어야 된다는 의미로 다음 식과 같이 표현하였다.

$$H.S. \text{ (Height Stability)} \equiv C_{Lz} < 0 \quad (2)$$

이때 고도와 양각의 변화에 따른 양력 및 모멘트의 변화율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta C_L &= C_{L\alpha} \delta\alpha + C_{Lz} \delta z \\ \delta C_m &= C_{m\alpha} \delta\alpha + C_{mz} \delta z \end{aligned} \quad (3)$$

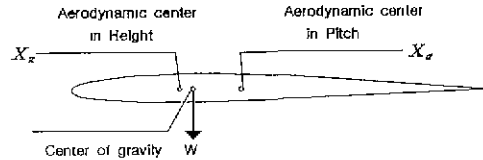
식(3)을 식(2)에 대입하면 다음으로 유도된다.

$$H.S. = \frac{C_{m\alpha}}{C_{L\alpha}} - \frac{C_{mz}}{C_{Lz}} < 0$$

$$\text{즉, } H.S. = X_a - X_z < 0 \quad (4)$$

여기서, X_a 및 X_z 는 피치 및 고도에 대한 공력

중심들이다. 식(4)의 물리적 의미는 고도에 대한 공력중심이 피치에 대한 공력중심 보다 전방에 위치해야 한다는 것이다(그림 8.1 참조).



- $\frac{\partial C_m}{\partial \alpha} < 0$: 항공기의 정안정성 조건
 - $X_a - X_z < 0$ (Reference Position : Trailing Edge)
- 그림 8.1 해면효과익선의 정안정성 조건

식 (4)는 다음 식으로 정리 할 수 있다.

$$\underbrace{C_{Lz}}_{\text{Stabilizing}} - \frac{C_{mz}}{C_{m\alpha}} \underbrace{C_{L\alpha}}_{\text{Destabilizing}} < 0 \quad (5)$$

해면효과익선에서 C_{Lz} 는 항상 음의 값을 갖기 때문에 안정 지향적이다. 일반 항공기와 같이 해면효과익선에서 $C_{L\alpha}$ 는 양의 값이다. 그러나 해면 효과익선에서 C_{mz} 는 양의 값을 주며 $C_{m\alpha}$ 가 음의 값을 주어 두 번째 항이 +값으로 되어 안정성을 악화시키며 첫 번째값보다 크면 불안정한 상태가 된다. 따라서 정적으로 안정한 해면효과익선의 설계를 위해서는 고도의 변화에 따른 모멘트의 변화가 거의 없도록 하든지(즉 $C_{mz} \approx 0$), 혹은 양각의 변화에 따른 모멘트의 변화($C_{m\alpha}$)가 아주 크게 하여 위식 두 번째항의 기여도를 거의 없애는 것이다. 이러한 설계를 위해서는 다음의 3가지 방법이 있다.

방법 1

고도중심보다 피치중심을 뒤쪽에 두는 방법의 하나는 가능한 지면효과의 영향을 벗어난 매우 높은 위치에 비교적 큰 면적의 꼬리날개를 설치하는 것

기술보고 | 해면효과익(WIG)선의...

이다. 꼬리날개의 면적과 위치의 조그마한 변화도 해면효과익선 전체의 모멘트에는 아주 큰 영향을 준다. 이 경우 꼬리날개는 $aC_m / \alpha a$ 의 절대값을 급격히 커지게 하여 고도에 대한 중심의 위치에 큰 영향을 주지 않고, 피치중심을 뒤쪽으로 많이 이동하게 하는 역할을 한다. 이는 (5)식에서 해면효과익선의 안정성을 저해하는 두 번째 항이 작아진다는 의미이기도 하다. 그러나 꼬리날개 높이의 조절만으로는 구조적인 문제로 제한이 따르며, 꼬리날개 면적의 증가와 그 위치를 뒤쪽으로 이동시킴으로써 고도안정성(H.S.)을 만족시키게 된다. 여기서 이러한 설계방법으로 설계된 러시아의 초기 대형 해면효과익선들이 왜 거대한 면적의 T형 꼬리날개를 가지고 있는가를 이해할 수 있을 것이다.

참고문헌[24]에 의하면, KM의 경우 꼬리날개는 Keel에서 22 m 높이에 Orlyonok경우 16 m 높이에 위치한다. 꼬리날개의 면적도 또한 매우 크며 심지어는 주익의 50%까지도 설정된다. 그러나 불행히도 이런 방식으로 해면효과익선의 정안정성을 만족시키는 것은 거대한 T형 꼬리날개가 주는 중량의 증가와 구조적인 문제, 그리고 꼬리날개에 의한 항력의 증가로 인한 양항비의 감소 등으로 지면효과로부터 얻는 이득을 크게 감소시킨다. 이러한 형태로 러시아의 1세대 Ekranoplan들의 설계가 이뤄진 이유는 초기 해면효과익선의 설계 시 설계자들이 기존 항공학적인 지식에만 많이 의존하였기 때문이며, 결과적으로 러시아의 1세대 Ekranoplan들이 주익 Chord의 10% ~ 25%라는 순항고도로 운항하게 되어서 지면효과의 극대화라는 관점에서 볼 때 거리가 먼 형태가 되고 말았다.

방법 2

두 번째 방법은 이미 러시아의 SM-1과 Jörg에 의해 보다 발전된 방식인 Tandem 형태를 사용하는 것이다. 이러한 형태의 경우 종방향 안정성은 아주

뛰어나나 승선감이 나쁘고, 상대적으로 높은 이주 속도가 필요하다. 그리고 무엇보다 이주시 지면 가까이 붙어 있는 날개가 파도에 영향을 크게 받아 해상상태의 영향을 크게 받고, 대형화가 어렵다는 단점이 있어서 호수나 강과 같은 곳에서 레저용으로 운항하는 정도의 소형 해면효과익선으로밖에 개발이 제한될 수밖에 없었다.

방법 3

3번째 방법은 주익을 S-type의 형태와 같은 고도에 대한 모멘트의 변화가 작은 형상을 사용하는 방법이다. 이런 설계 방법은 70년대 후반에 Alexeyev에 의해 생각되어진 Flying Wing과 Composite Wing의 설계개념에 이미 들어가 있다. Alexeyev는 최종적으로 수평꼬리날개를 없애고 종방향 안정성을 적절한 주익의 선택과 안정성을 자동적으로 유지하는 제어시스템 등으로 만족시켜서 지면효과를 극대화하려고 했었다.

실제로 러시아의 2세대 Ekranoplan(MPE-400)의 설계에서는 이러한 설계방법을 사용하여 주익의 50%까지 차지하던 꼬리날개의 면적을 27%로 까지 줄일 수 있었다[25].

8.2 종방향 동안정성

그림 8.2에서 보여준 것처럼 비행체의 무게중심 O를 원점으로 하여 O-xyz축을 설정한다. 축들

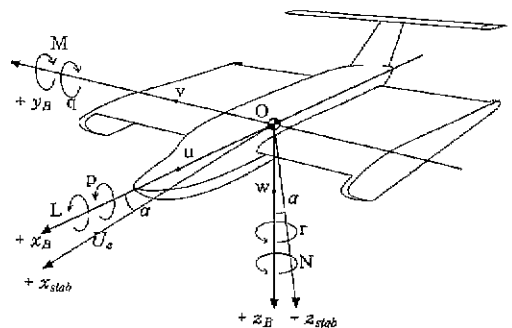


그림 8.2 Axes and Velocity Components

(Body axes)은 비행체에 고정되어 있고 비행체와 같이 움직인다. $O-x$ 와 $O-z$ 는 비행체의 대칭면에 위치하고 $O-z$ 는 아래방향이, 그리고 $O-y$ 는 우측방향이 (+)방향이다.

수면효과를 고려한 종방향 운동방정식

지면효과를 받지 않으며 조종간이 고정된 상태 (Stick-fixed)일 때 일반적인 항공기의 종방향 선형 운동 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m\dot{u} - X_w \dot{w} &= X_u u + X_w w - mg\theta + X_a q \\ m\dot{w} - Z_w \dot{w} &= Z_u u + Z_w w + (Z_q + mU_e)q \\ I_y \dot{q} - M_w \dot{w} &= M_u u + M_w w + M_q q \end{aligned} \quad (6)$$

윗첨자(·)는 시간에 대한 미분을 의미한다. 윗방정식은 Kumar[19], Irodov[20], Staufenbiel[21] 등이 시도한대로 고도(h)에 대한 항들을 추가함으로써 지면효과를 고려한 운동 방정식으로 변형될 수 있다. 따라서 방정식(6)에 다음과 같은 3개의 고도 안정성 계수를 도입하였다.

$$X_h = \frac{\partial X}{\partial h}, Z_h = \frac{\partial Z}{\partial h}, M_h = \frac{\partial M}{\partial h} \quad (7)$$

또한 고도 변화에 따른 아래의 운동학적 조건식이 추가된다.

$$\dot{h} = -w + U_e \theta \quad (8)$$

운동방정식(6)에 위에서 언급한 지면효과에 의해 발생하는 힘들과 모멘트를 포함시키고 식(8)을 고려하면, 지면효과를 받고있는 항공기의 종방향 운동 방정식들은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} m\dot{u} - X_w \dot{w} &= X_u u + X_w w - mg\theta + X_a q + X_h h \\ m\dot{w} - Z_w \dot{w} &= Z_u u + Z_w w + (Z_q + mU_e)q + Z_h h \end{aligned}$$

$$I_y \dot{q} - M_w \dot{w} = M_u u + M_w w + M_q q + M_h h \quad (9)$$

식(9)은 아래와 같이 매트릭스(Matrix)형태로 바뀌진다.

$$M \dot{x} = A x \quad (10)$$

식(10)을 라플라스 변환시키고, $(sI - M^{-1}A)$ 를 계산하면 다음과 같다. 여기서, M 은 질량 Matrix, A 는 상태 매트릭스 x 는 상태벡트, I 는 단위 매트릭스, s 는 라플라스 변수이다. 다시 위 매트릭스의 행렬식(Determinant)을 계산함으로써 시스템의 특성방정식을 얻을 수 있다. 지면효과를 받지 않는 일반적인 항공기의 경우 특성방정식이 4차인 것에 비해, 지면효과를 받는 해면효과익선의 경우 다음과 같이 5차로 주어진다.

$$As^5 + Bs^4 + Cs^3 + Ds^2 + Es + F = 0 \quad (11)$$

여기서 계수 A, B, C, D, E, F는 다음과 같으며 모든 값들은 풍동 시험으로 구한다.

$$A = I$$

$$\begin{aligned} B = \frac{1}{mI_y(m - Z_w)} [&-mM_w(mU_e + Z_q) \\ &+ mM_q(-m + Z_w) - I_y(mX_u + X_w Z_u + mZ_w \\ &- X_u Z_w)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C = \frac{1}{mI_y(m - Z_w)} [&mM_q X_u + mM_w U_e X_u + mI_y Z_h + M_w X_u \\ &Z_q - mM_w(mU_e + Z_q) \\ &- M_w X_q Z_u - I_y X_w Z_u + M_q X_u Z_u + mM_q Z_w \\ &+ I_y X_u Z_w - M_q X_u Z_w \\ &- M_u(mX_q + mU_e X_w + X_w Z_q - X_q Z_u)] \end{aligned}$$

횡비의 날개일수록 낮은 고도에서 C_L 의 값이 중
 횡비가 큰 날개의 값보다 훨씬 더 크다는 점에서
 이해될 수 있다.

그림 8.4는 순항고도에서 순항속도에 따른 동적
 중방향 운동특성을 보여주고 있으며 20인승 해면
 효과익선 Seagull의 동적 안정성이 우수함을 알 수
 있다.

9. 해군력 증강 활용 방안

소련공산체제의 붕괴로 세계는 냉전시대를 탈피
 하여 지금까지의 해군들의 전략, 전술적인 정책의
 환경변화가 요구되고 있다. 세계적인 전쟁분위기는
 사라지는 것 같으나 여전히 국부적인 분쟁은 지
 속되고 있다. 한반도에서는 남북대화 분위기가 조
 성되고 민간교역도 시작되고 있으나 긴장을 풀 수
 있는 입장은 아니다.

미래 해전 양상은 첨단 무기체계에 대한 과학기
 술전, 정보전 및 광역화된 전장에서의 지/해/공 통
 합 작전으로 전개될 것으로 본다. 따라서 함정의 발
 전방향도 다목적 전투함, Total Ship System 개념,
 탐지 및 공격수단의 장거리화·초정밀화·고성능화,
 스텔스 기술적용, 생존성 증대, Life Cycle Coast절
 감, 각종 체계의 자동화 등으로 될 것으로 본다[29].

또한 함정은 어떠한 상황에서도 주어진 임무를
 완수해야 되기 때문에 우수한 기동성, 우수한 생존
 성, 우수한 전투력, 우수한 내항성 및 우수한 조종
 성의 확보가 필수적이다. 해면효과익선은 지금까
 지 개발된 함정과는 다른 차원에서 위 요구조건을
 충분히 만족할 수 있다고 본다. 앞에서도 언급한
 바와 같이 구조련에서 개발된 대형 해면효과익선
 들은 모두 군사용이었고 상륙함 및 유도탄함으로
 실용화되었다. 또한 탐색 및 구조작전의 강력한 필
 요에 의해 유도탄함이 개조되어 구조함으로 건조
 중 소련공산체제의 붕괴로 중단되었다. 따라서 군
 사분야에서의 전술적 활용가치는 이미 입증되었다
 고 볼 수 있다.

해면효과익선의 전술적 가치 분석은 고영택 중
 령의 “해면효과익선의 전술적 가치에 관한 고찰”
 [27]에 잘 보고 되었으며 이하는 저자의 동의하에
 참고문헌의 내용을 상당히 인용하였다.

9.1 전술적 장점

가. 초고속 기동성(적보다 빠르게)

해면효과익선의 기동성은 100~300노트로 재래
 식 항공기에 필적한다. Orlyonok 상륙함은 최대
 속력 215노트 순항속력 190노트이고, Lun 유도탄
 함의 순항속력은 270노트이다. 미해군의 고속상륙
 정 LCAC의 속력은 40노트로써 해면효과익선과
 는 비교가 되지 않는다. 이러한 초고속 기동성은
 적의 항공기나 대함 유도탄(SSM/ASM)등으로부
 터의 피격가능성을 최소화 할 수 있다.

나. 우수한 생존성

생존성이란 부여된 임무를 완수하기위한 능력에
 어떤 손상을 받지 않고서 적의 위협환경을 회피하
 거나 견디어 내는 능력을 말한다.

- 초저공 비행능력 : 해면위 2~3m에서 비행하
 기 때문에 레이더 탐색이 어려워서 적으로부터
 의 포착이 어렵다.
- 대잠공격 위협으로부터 자유롭다 : 해면효과익
 선이 해면 위를 항주할 경우 수중방사소음이 거
 의 발생하지 않게되어 잠수함이 잠항상태에서 탐
 지가 불가능해진다. 만약 스노클링 중인 잠수함
 에서 해면효과익선이 탐지되더라도 고도가 낮고
 속력이 너무 빨라서 금방 잠수함의 시야에서 사
 라지기 때문에 공격받을 가능성은 희박해진다.
- 적은 레이더 반사 단면적(RCS) : 설계단계에
 서 수상함은 RCS를 축소하기 위하여 형상, 구
 조 및 재질 등의 선택에 많은 예산과 노력을 투
 자한다. 해면효과익선의 선체는 항공기와 비슷
 한 알미늄합금이며 항공기 형태로 만들어져서
 선체의 구조자체가 레이더 전파를 난반사 시키
 기 때문에 외형상 동일한 크기의 수상함에 비

표 9.1 RCS 크기와 탐지거리 비교 (참고문헌 [27]로부터 인용)

구 분	배수량	R C S		탐 지 거 리	
		크 기	감쇄율	거 리	감소율
유사크기함정	1,200톤	5,500m ²	기 준	46NM	기 준
동일톤수함정	400톤	987m ²	82%	30NM	34.8%
해면효과익선	400톤	100m ²	98%	16.9NM	63%

표 9.2 WIG Ship의 ACV 및 항공기 성능 비교(참고문헌[27]로부터 인용)

구 분		최대중량	최대탑재량 (Internal loading)	최대속력	순항속력
초계기	P-3C	64톤	9톤	411KTS	206KTS
상륙헬기	CH-53	31.6톤	13.6톤	170KTS	150KTS
	CH-47	19.6톤	6.3톤	154KTS	134KTS
	UH-60L	7.9톤	1.2톤	195KTS	159KTS
ACV	LCAC	180톤	60톤	40KTS	35KTS
WIG Ship	Oryonok	140톤	20톤	215KTS	190KTS
	Lun	380톤	137톤	296KTS	270KTS

해 RCS가 작아진다.

고[27]는 400톤급 유도탄함 Lun급 해면효과익선(길이 73.8m×폭44m)과 외형상 크기가 비슷한 수상함의 배수량을 1,200톤급으로 가정하고 RCS 크기와 탐지거리를 계산하여 비교하여 아래 표 9.1로 주었다.

해면효과익선은 외형상 비슷한 크기의 수상함보다 RCS는 98% 감쇄되고 탐지거리는 63% 감소됨을 알 수 있다. 그리고 동일 톤수의 수상함정에 비해서 RCS는 82% 감쇄되고 탐지거리는 34.8%가 감소됨을 알 수 있다.

- 손상시 선박으로 대체 : 운항중 엔진관계등의 사고는 항공기의 경우 매우 심각한 위험을 의미 하지만 해면효과익선의 경우 선박으로 전환할 수 있으며 최악의 경우 구조선이 도착할 때

까지 물위에서 대기할 수 있다.

다. 우수한 전투능력 확보

- 다양한 탑재능력 : 표 9.2 은 해면효과익선, 공기부양선 및 항공기의 탑재능력과 속력을 비교한 것이다. 해면효과익선은 탑재능력면에서 공기 부양선과는 비슷하지만 헬기보다는 절대적으로 우수하다. 속력면에서도 가장 빠른 상륙헬기인 UH-60L의 경우보다도 개발된 해면효과익선이 빠름을 알 수 있고 고속상륙정과는 비교가 되지 않는다.
- 초저공 비행능력 : 해면위 2~3m에서 비행하기 때문에 레이다 탐색이 어려워 적으로부터의 공격가능성이 희박하기 때문에 우수한 생존성을 확보하고 있다. 200~300노트의 속력으로

표 9.3 한국근해 연간 파고 일수(참고문헌[27]로부터 인용)

구분	파고	1.5m 이하	1.6~2.5m	2.6~3.0m	3.1m 이상
		일 수	비율(%)	일 수	비율(%)
동해중부	일 수	130	119	58	58
	비율(%)	35.5	32.5	15.9	15.9
동해남부에서 남해동부	일 수	103	160	63	39
	비율(%)	28.2	43.9	17.2	10.7
남해서부에서 서해남부	일 수	113	140	55	57
	비율(%)	30.9	38.4	15.1	15.6
서해중부	일 수	191	87	39	48
	비율(%)	52.3	23.8	10.7	13.1
전해역 평균	일 수	135	126	54	50
	비율(%)	36.9	34.6	14.8	13.7

출처: 한국해역 기상분석, 해군본부 1993. 10 pp.111~115

해면 위 2~3m 비행하면 헬기, 제트폭격기로부터의 하방 요격가능성도 희박하다. 따라서 무장한 해면효과익선은 적함 혹은 적기들을 손쉽게 요격할 수 있다.

라. 내항성 (거친 바다에서도 운항가능)

해면효과익선은 이륙하게 파고 거친 해상상태에서의 운항 안정성등이 문제점으로 지적되어 왔지만 7절에서 언급한 이륙보조장치의 보강등으로 높은 파고에서도 이륙할 수 있는 군수용 해면효과익선을 설계할 수 있다고 본다. 최악의 경우 비교적 잔잔한 수면이 있는 기지(혹은 모래사장)에서 이륙 후 고도를 높여서 비행하면 해상상태와는 무관하게 임무를 완성할 수 있다.

마. 우수한 조종성

해면 가까이 비행하면서 선회시에는 한쪽 날개가 물에 닿는 것을 피하기 위해 선회반경이 커질 수 밖에 없지만 필요시 고도를 높여서 선회하면 비행

기와 같은 선회반경 및 조종성을 유지할 수 있다.

9.2 전술적 약점

해면효과익선의 약점은 앞에서 언급한 바와같이 기상변화에 따른 내항성능의 약화, 선회성능이 크다는 것, 초저공비행에서의 안정성 문제, 해수에 의한 엔진부의 부식 및 수명단축 등이 있다. 또한 전술적 이용가치를 극대화하기 위해서는 황천시에도 운항이 가능한 즉 파고가 높은 해상상태에서도 이착수가 가능해야 된다.

중형 140톤 Orlyonok 급은 파고 2.0m까지 이착수가 가능하고 대형 400톤 Lun 급은 2.5m까지 이착수가 가능하다고 보고되었다. 아래의 표 9.3에서 보인바와 같이 한국 근해에서는 파고 3.0m 이하인 해상상태는 연간 315일 정도로서 전술적 가치를 극대화하기 위해서 파고 3.0m의 해상상태에서 이륙이 가능한 해면효과익선의 설계가 필요하다. 크기를 키우든지 아니면 앞절에서 언급한 고양력장치를 개발하여 이륙가능한 파고를 높일 수 있

다고 본다. 특수한 경우 VTOL개념을 도입하면 전천후 해면효과익선이 될 수 있다.

일단 이륙 후는 극한상황에는 고도를 높여서 운항하면 내항성능의 한계는 없으리라 본다. 착륙시는 큰 파랑 충격이 예상되나 동체 밑 부분에 Hydroski(그림 7.1참조)등의 이착륙 보조장치를 부착하고 실속속도에서 착수하면 이륙보다는 큰 문제가 되지 않는다고 본다.

선회성능이 크다는 단점은 전술용 해면효과익선의 경우 여유마력으로 고도를 상승할 수 있기 때문에 필요시 고도상승과 선회각(bank)을 주어 회전하면 선회 반경을 일반비행기 정도로 크게 줄일 수 있다고 본다.

초저공비행에서의 안정성 문제는 종방향 안정성을 고려한 최적 설계가 필요하며 또한 초저공용 고도계, 고속형 충돌회피용 레이더, 전용 자동제어시스템등의 개발로 해결할 수 있다고 보며 또한 약점으로 대두되는 야간비행도 가능하리라고 본다.

엔진부의 부식 및 해수 유입시 엔진의 손상은 현재로서는 별다른 방법이 없으나 새로운 기술이 개발되면 해상용 초고속 엔진의 개발이 출현되리라 본다.

9.3 전술적 활용 가치

가. 탐색 및 구조작전

1989년 4월 7일에 구소련의 핵 잠수함 Komsomolets가 노르웨이 근방의 공해상에서 사고로 침몰하였다. 사고장소에 구조팀이 도착한 것은 7시간이 지난 후였고 이때는 이미 42명의 승조원들이 모두 사망한 후였다. 당시 사고지점은 러시아에서 720 km 떨어진 곳이었고, Lun이 사고장소에 투입되었더라면 2시간 이내에 도착하여 구조작업을 할 수 있었던 거리였다. 이후 모스크바의 정부관리들 사이에서 해면효과익선의 해난구조 필요성이 대두되어 이미 유도탄함으로 설계되었던 Lun을 해상구조용으로 수정한 Spasatel로 제작하도록 CHDB(Central Hydrofoil Design Bureau)

에 주문하였다. 러시아가 경제난으로 인해 제작이 멈추었을 때 Spasatel은 몇몇 내부공사만 남겨둔 상태였다.

해난구조에는 선박, 헬리콥터, 항공기 및 해상비행기 등이 이용되고 있으며 이들의 장단점은 다음과 같다.

해난구조용 선박	높은 속도, 비교적 높은 파도에서 장시간 구조활동이 가능.
구조용 헬리콥터	매우 짧은 거리 내에서 극히 소수의 인원에 대해서만 구조활동 가능.
일반 항공기	매우 넓은 지역에 걸친 수색작업은 가능하나, 직접적으로 구조활동은 불가능.
구조용 해상비행기	날씨 및 해상상태에 큰 제약을 받기 때문에 조그마한 파도에도 구조활동이 불가능.

해면효과익선을 조난해역으로 이동시에는 해면효과를 이용하여 낮게 유지하지만 조난해역 도착시에는 고도를 필요만큼 상승해서 탐색활동을 할 수 있기 때문에 탐색고도에 있어서 일반 구조용 항공기와 비교시 전혀 제한 사항이 없게 된다. 해면효과익선을 탐색 구조용으로 운용할 경우 이동속도와 탐색고도, 탐색범위는 일반항공기에 필적할 만하고 조난자 구조시에는 수상함처럼 해상에 착수해서 생존자를 직접 회수할 수 있으므로 재래식 항공기나 헬기보다 훨씬 유리하다. 이처럼 해면효과익선은 탐색 및 구조작전에서 항공기와 수상함이 할 수 있는 우수한 기능들을 한꺼번에 수행할 수 있기 때문에 해양에서의 탐색 및 구조 업무에 대단히 적합한 전력이 될 수 있다.

파도 위에 떠있는 상태에서 해면효과익선은 해상비행기와는 본질적으로 다른 운동성을 보인다. 가능한 해면효과를 얻기 위해서 해면효과익선은 저익기 형태가 되며 이 경우, 파도 위에 떠있는 상태

기술보고 | 해면효과익(WIG)선의...

에서 양쪽 날개의 뒷부분이 자연히 물 속에 잠기게 되고 이는 옆에서 오는 파도에 의한 횡동요운동을 막아주게 되어 웬만한 파도에도 종방향이나 횡방향으로 거의 같은 정도의 안정성을 갖게 되어 선박보다 더 높은 파도에서도 구조작업을 수행할 수 있다. Spasatel는 총중량 400 ton, 순항속도 500 km/h, Range 3,000 km이며 3.5 m의 파도에서도 이착수 가능하며 80개의 침대와 500여명의 조난자들을 수용할 수 있으며, 약 5일 동안 외부지원없이 단독으로 구조활동을 할 수 있는 능력을 갖추고 있었다.

나. 상륙작전

상륙작전은 주로 헬기와 공기부양선과 같은 고속의 수송수단으로 이루어 진다. 기동성이나 탑재 능력면에서 우수한 해면효과익선의 적용은 상륙작전을 훨씬 효과적으로 수행할 수 있다고 본다. 해안으로부터 30NM해상에서 상륙한다면, 40노트의 공기부양선은 약 38분이 소요되고 200노트의 해면효과익선은 약 8분 정도 밖에 소요되지 않는다. 해면효과익선은 적기뢰 부설해역을 무사히 통과할 수 있고 해면에 낮게 초고속 기동성으로 이동하기 때문에 함포와 유도탄으로 무장된 전투초계함, 잠수함 및 해안초계정의 공격으로부터 생존성이 매우 높다.

참고로 Orlyonok는 화물 15톤, 무장병력 150명을 싣고 최대속력 400km/h로 2,000km를 운항할 수 있다. Lun급은 화물 137톤 혹은 무장병력 1,000여명을 싣고 최대속력 500km/h로 2,000km를 운항할 수 있다.

다. 특수작전

중·소형 해면효과익선은 특수 임무 지원용으로 효과적으로 이용할 수 있다. 고속의 기동성, 저공비행, 낮은 RCS 때문에 적 경비세력이나 해안 레이더의 탐지에 걸리지 않고 해안에 접근하여 목적을 성취할 수 있다. 해면효과익선의 고소음은 해안

가까이 접근해서부터는 반잠수 고속정처럼 반잠수 상태로 저속으로 은밀 침투가 가능하고 목적수행 후 혹은 적으로부터 발견후는 초고속으로 후퇴할 수 있는 장점이 있다.

라. 대함작전

소형에서부터 대형까지 단계적으로 크기를 다르게 하여 항만 및 연안 경비를 위한 경비정, 대함작전을 위한 유도탄정 등에 이르기까지 여러 가지 기능을 수행할 수 있기 때문에 다목적 함정으로서 전술적 이용가치가 높다. 해면효과익선은 RCS가 작고 200노트이상 초고속으로 해면 위 초저공으로 비행하기 때문에 대함·대공 탐색 레이더 탑재 운용시 제공권을 확보하지 못한 전방해역에서 조기경보 및 OTH-T 임무 수행에 적합하다. 또한 탑재량이 많기 때문에 대량의 유도무기를 탑재해서 대함 공격이나 대지상군에 대한 해상화력 지원함으로 이용할 수 있다.

마. 공격기뢰 부설작전

기뢰부설 수단은 수상함, 잠수함, 항공기를 이용하는 데 공격기뢰 부설에는 주로 잠수함과 항공기가 이용된다. 해면효과익선은 적 해역에 대한 공격기뢰부설 수단으로 운용할 경우 잠수함처럼 은밀하지는 못하지만 해면상을 초고속으로 기동함으로써 기습적으로 적 해안에 접근할 수 있으며, 항공기처럼 신속하게 기뢰를 부설하고 철수할 수 있다. 전술항공기의 능력에 미치지지는 못하겠지만 탑재량이 많기 때문에 일시에 대량으로 부설가능하며 필요시에는 반복 작전 수행도 가능하다.

10. 결 론

해면효과익선의 특성, 개발현황, 경제성, 장점과 기술적 문제점 및 해결방안을 논하고 전술적 장점과 약점, 활용가치에 대해 언급하였으며 다음으로 요약한다.

- 아시아 주요 무역항로 구간이 800~1,200km 정도이다. 아시아 지역 경제 활성화 및 물류 비용절감을 위해 100~200톤의 화물을 싣고 2~3시간대에 수송할 수 있는 수송수단이 머지 않은 장래에 필요하다.
- 해면효과익선은 재화중량 100~200톤, 시속 100~500km, 운항거리 800~1,500km의 범위 내에서 항공기와 일반 선박보다 경쟁력이 있다.
- 해면효과익선의 개발에 큰 기술적 제약은 없다.
- 예상되는 개발 기술분야는 이착륙보조장치, 엔진부식방지, 초저공용 고도계, 고속 평면 충돌 회피용 레이더, 전용 자동제어시스템, 저익면 하중의 경량화등이다.
- 해면효과익선의 실용화 및 상용화를 위해서는 높은 파도에서도 이착륙이 가능한 보조장치 개발이 필요하다(PAR, Hovering, Hydrofoil, Hydroski, VTOL).
- 차세대 함정의 요구되는 우수한 기동성(초고속 기동성), 우수한 생존성(초저공 비행능력, 대잠 공격으로부터 자유, 적은 RCS, 손상시 선박으로 전환), 우수한 전투능력(다양한 탑재능력, 초저공 비행능력, 초고속 기동성), 우수한 내항성(파랑과 관계없이 비행가능) 및 우수한 조종성(필요시 고도상승으로 비행기와 같은 조종성)과 같은 조건들을 해면효과익선은 만족시킨다.
- 따라서 탐색 및 구조작전, 상륙 작전 지원, 특수 작전지원, 대함작전 및 공격기뢰 부설 전력으로 활용하면 전력의 극대화가 예상된다.
- 필요시 민간 해난 탐색 및 구조, 해양환경 오염 감시(누유화산 경로 감시)등에 지원할 수 있다.
- 함정은 전투능력의 향상과 생존성 증대를 위하여 조선공학 기술의 극대화가 요구되므로 함정 건조기술은 조선공학의 발전을 이끌어 오고 있고 선진국에서는 이 역할을 해오고 있다.
- 세계적 경기의 침체로 경제성과 개발성공의 불투명도로 민간 업체들의 과감한 투자가 현실적으로 실현되지 못하고 있고 국내 조선산업계는

- 성격상 큰 기술적 모험을 시도하지 않고 있다.
- 소련에서는 1965년 순수한 시험선으로 초대형 540톤급 KM을 건조하여 수많은 해상시험을 거쳐 성능이 우수한 Orlyonok, Lun을 건조하였다. 이는 군사적 큰 목적이 있었기에 가능했다.
 - 해면효과익선 관련기술은 조선과 항공기술이 접목된 첨단 기술로 개발의 파급효과는 막대하다. 따라서 먼저 군사용으로 개발 건조하여 기술을 선도하면 국내 조선업계의 세계 조선경쟁력 고에 획기적인 기여를 하게 된다.

참 고 문 헌

- [1] Chun H. H., Chung K. H., Chang J. H., "Smoke Trace Flow Visualization of a Wing in the Vicinity of the Ground", Proc. of the Japan-Korea Joint Symp. of Advanced Technology and Science, Yokohama, Japan Oct., 1996, pp285~298
- [2] Fuwa T., "R & D of Wing-in-Surface Effect Ship in Japan", '94 초고속선 Workshop 논문집, 한국기계연구원, 1994 (번역 : 신명수) pp. 3~39
- [3] Stinton D. "The Anatomy of the Aeroplane", 2nd Edi. published by Blackwell Science Ltd., 1998, p. 90
- [4] Proc. of Workshop on 21C Flying Ships, edited by Prandolini L.J., Sydney Australia Nov. 1995 244pp.
- [5] Proc. of Workshop on Ekranoplans Very Fast Craft, edited by Prandolini L.J., Sydney Australia Dec. 1996 300pp.
- [6] Proc. of Workshop on WISE up to Ekranoplans GEMS, edited by Prandolini L.J., Sydney Australia Nov. 1998 273pp.
- [7] Proc. of Int. Conference on WIG Effect Craft, RINA, London, U.K., Dec. 1997

- [8] Kubo S., "Review of Wing-in-Surface Craft in the World", 일본항공우주학회 제 33회 비행기 심포지움, 1995 (in Japanese)
- [9] Park I. R. and Chun H. H., "Analysis of Steady and Unsteady Performance for 3-D Surface Effect Wing", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 35, No. 3, Aug. 1998, pp. 14-25 (in Korean)
- [10] Chun H. H. et al., "Experimental Investigations on Wing in Ground Effect" Proc. of 3rd Korea-Japan Joint Workshop on Ship and Marine Hydrodynamics, Daejeon Korea, July 1996, pp. 358-369
- [11] Kim S. K. et al., "Wind Tunnel Test Study on the Wings of WIG Ship", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 34, No. 1, Feb. 1997. pp. 60-67 (in Korean)
- [12] Chun H. H. et al., "Preliminary Design of a 20 Passenger PARWIG Craft and Construction of a 1/10 Scale Radio Controlled Model", Proc. of Int. Conf. on FAST Sea Transportation, Sydney Australia, July 1997, pp. 513-520
- [13] 이진태 외, "러시아 WIG선 기술조사 보고", 제 1차 고속정 분과 Workshop 논문집, 서울대학교 해양시스템공학연구소, 1995, pp.84~94
- [14] Shin M. S. et al., "Wind Tunnel Test Results for Eight and Twenty Passenger Class WIG Effect Ships", Proc. of Int. Conf. on FAST Sea Transportation, Sydney Australia, July 1997, pp. 565-570
- [15] Chun, H. H.. "Experimental Studies on a 20 Passenger Class WIG Craft", Confidential Report NAOE-R-9702, Dept. of NAOE, Pusan National University, Korea, 1997, 210 pp. (in Korean)
- [16] 경향신문, "물위 나는배 개발 본격화". 경향신문, 1997. 1. 9. 27면
- [17] Bogdanov A., "The Problems of Ekranoplans Certification Concept and Developments of IMO Safety Requirements", Proc. of Workshop on Twenty-First Century Flying Ships, Australia, Sydney, 1995, pp. 128~147
- [18] 전호환, 장종희, 신명수, "PARWIG선의 공력 특성에 관한 풍동시험", '99 춘계 대한조선학회 학술발표대회 논문집, 1999. 4, 거제대우조선소
- [19] Kumar, P. E., "On the Stability of the Ground Effect Wing Vehicle", Ph. D. Thesis, The University of Southampton, UK, 1969, 90 pp.
- [20] Irodov, R. D., "Criteria of Longitudinal Stability of Ekranoplan", Ucheniye Zapiski TSAGI, Vol 1, No.4, Moscow, 1970
- [21] Staufenbiel, R. W., "On the Design of Stable Ram Wing Vehicles". The Royal Aeronautical Society Symposium Proc., May 1987, pp.110-136
- [22] Hall, I. A., "An Investigation into the Flight Dynamics of Wing In Ground Effect Aircraft Operating in Aerodynamic Flight", MSc Thesis, Cranfield University, September 1994, 136 pp.
- [23] Delhaye, H., "An Investigation into the Longitudinal Stability of Wing In Ground Effect Vehicles", MSc Thesis. Cranfield University, September 1997, 78 pp.
- [24] Rozhdestvensky, K. V., "Ekranoplans-The GEMs of Fast Water Transport", Trans. IMarE. Vol. 109, Part 1, December 1996, pp.47-74

- [25] Rozhdestvensky, K. V., "Ekranoplans - Flying Ships of the Next Century", Proceedings of a Workshop on Twenty-First Century Flying Ships, University of New South Wales, November 1995, pp.47-70
- [26] Gera, J., "Stability and Control of Wing-In-Ground Effect Vehicles or Wingships", AIAA 95-0339, January 1995, U.S.A.
- [27] 고영택, "해면효과익선의 전술적 가치에 관한 고찰", 전투발전연구 1998년 제 3호 pp.224~282
- [28] Chun H.H., Chang J.H., Paik K.J., "Longitudinal Stability of a Wing in Ground Effect Craft", J. of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 36, No 3, 1999 pp.60~70 (in korean)
- [29] 김정환, "함정 및 특수선 설계 특성 및 발전 방향", 부산대학교 특별강연, 1999 3
- [30] Hooker S. F., "Twenty First Century Shipping at Aircraft Speed", Proceedings of a Workshop on Twenty-First Century Flying Ships. University of New South Wales, November 1995, p. 231
- [31] Chubikov B. V. et al., "Ekranoplan - a High Speed Marine Vehicle of New Type", Proc. of the Int. Conf. FAST' 91, Trondheim, 1991



전 호 환

- 1958년 6월 13일생
- 1988년 영국 글라스고우대 공학박사
- 현재 부산대학교 조선해양공학과 부교수
- 관심분야: 선체저항 및 유체
- E-mail: chunahh@hyowon.pusan.ac.kr
- 전 화: 051-510-2341

**대한조선학회의 인터넷 기반 논문심사 체계
SNAK WebReview System으로
논문을 투고 하십시오.**

URL: <http://ship.cnu.ac.kr/~snakwebreview/>