

표면효과익선 관련 러시아 보유기술 조사보고

이진태 <선박해양공학연구원>, 김정환 <현대중공업>,
 김용수 <대우중공업>, 주영렬 <삼성중공업>,
 김상근 <한진중공업>

1. 서 언

표면효과익선(WIG : Wing-In-Ground Effect Ship)은 해면 위를 낮게 비행함으로써 표면효과에 의한 양력 증가를 얻게 되어 초고속으로 운항할 수 있는 선박과 항공기의 중간형태의 차세대 해상운송 수단이다. 해면 위에 직접 이·착륙이 가능하기 때문에 별도의 활주도가 필요없으며 수륙양용으로 사용 가능하다. 연근해 도서지방 관광 및 신선도 유지가 필수적인 신선화물의 수송에도 사용될 수 있으며 해난사고 구난 및 해양 경비용으로도 사용가능한 해상 운송수단이다.

WIG선의 개발은 독일·일본의 발명가를 중심으로 진행되어 왔으며 경제성 검토, 대형화에 필요한 핵심기술 개발 등 해결되어야 될 문제가 남아있기 때문에 상업용 개발은 본격적으로 이루어지지 않고 있으나 최근 러시아의 개방과 함께 서방세계에 알려진 러시아 WIG 기술의 수준은 서방세계 기술자들을 놀라게 하고 있다. 미국·프랑스 등 일부 군사용 목적의 표면효과익선 개발이 보고된 바 있으나 소규모 WIG선에 국한되었으며 개발결과 역시 알려지지 않았다.

러시아 WIG선 역시 군사용으로 개발되었으며 개방이전에는 서방세계에는 그 실체가 알려져 있지 않았다. 다만 도저히 선박의 속도로는 믿어지지 않는 속도로 카스피해의 해면위를 달리는 대형 WIG선이 위성사진에 포착되어 이를 'Caspian Monster'라고 명명한 바 있는 정도이다. 러시아는 1960년 이후 WIG선 개발을 계속적으로 추진하고 있으며 현재 이 분야의 기술수준 및 대형 WIG선 건조실적에 있어 과히 독보적인 위치를 차지하고 있다.

기술조사사업을 통하여 국내 4대 조선업체와 선박·해양공학연구원(KRISO)가 콘소시움을 구성하여 러시아에 위치하고 있는 WIG 개발 담당 연구소, 설계공사, 대학 등을 방문하여 관련 기술에 대한 조사를 수행하였으며 관련 전문가 초청에 의한 Workshop을 개최한 바 있다. 기술조사를 위하여 1994. 11. 27 ~ 12. 6의 기간동안 Moscow 및 St. Petersburg에 위치하고 있는 관련기관 및 관련기술자를 면담하고 러시아 WIG 기술의 실체를 파악하였다.

기술조사단은 KRISO와 국내 4대 조선업체(현대, 대우, 삼성, 한진)가 참여하는 콘소시움의 형태로 구성되었으며 과거에 담당사무관 및 STEPI Moscow 사무소장이 함께 동행하였다. 또한 선박·해양공학연구원에서는 러시아 St. Petersburg Marine Tech. University의 Prof. Rozhdestvensky, Prof. Kornev 및 일본 Tottori 대학의 Prof. Kubo를 초청하여 'Workshop on WIG Ship Technology'를 1995. 6. 1 ~ 6. 2 동안 개최한 바 있다.

본 고에서는 표면효과익선의 특징을 간략히 살펴보고 21세기 고속해상운송수단으로 사용될 가능성에 대한 경제성 검토 및 핵심에로기술을 살펴보았으며 러시아 표면효과익선의 발달과정과 개발된 선종의 특징을 조사하였다. 러시아는 해면효과익선 개발에 엄청난 노력을 투입하여 왔으나 현재 중앙 정부의 지원이 중단되어 지금까지 개발된 기술들이 사장될 염려가 매우 높다.

한국 조선공업의 생산기술은 비약적 발전을 계속하여 왔으나 새로운 형식의 차세대 선박 개발을 위한 핵심기술의 수준은 아직 선진조선국에 비하여 낙후되어 있다. 러시아의 첨단 선박개발 기술과 한국의

조선생산기술을 접목하여 WIG선의 실용화를 한국에서 주도할 수 있다면 차세대에서도 한국 조선공업이 계속 경쟁력을 확보하는데 일조하리라 판단된다. 조선선진국의 첨단 조선기술의 한국이전을 기피하고 있는 실정을 감안할때 재정적 어려움을 겪고 있는 러시아 관련기관과의 협력을 통하여 비교적 저렴한 가격에 우수한 기술을 도입하는 것은 한국 조선공업 발전에 도움이 되리라 생각한다.

2. 표면효과익선(WIG선)의 특징

2.1 표면효과익선의 원리

양력을 받고 있는 날개면이 수면 가까이 비행하게 되면 표면효과에 의해 양력이 증가하게 된다. 자연계 동물(두루미, 청둥오리, 펠리칸 등)은 오래전부터 이러한 현상을 착수 및 이수시 이용하고 있다. 즉 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 수면 근처를 비행중인 펠리칸은 수면과 날개 뒷날 사이의 거리를 적게 함으로써 날개 밑면의 공기압력을 증가시켜 양력을 증가시킨다. 같은 원리를 WIG선에 적용하여 양력/항력비를 증가시키려 한다. 공기중에서 비행하던 헬글라이더가 착륙할 때에도 표면효과에 의한 양력증가로 인하여 목표로 하는 위치에 착륙하지 못하는 경우도 흔히 발생한다고 한다.

수면 근처에서 작용하는 양력면으로는 수면 하방에서 작동하는 수중익(Hydrofoil)과 수면 상방에서 비행하는 표면효과익(WIG-foil)이 있다. Fig. 2에서 보인 바와 같이 수중익의 경우 수면과 날개면과의 거리가 적을수록 양력은 감소하게 된다. 즉 수중익이 양력을 과다하게 발생하여 수면 가까이 떠오르게 되면 양력이 감소하여 수중익을 수면 아래로 떨어뜨리게 된다. 수중익선은 이 원리를 이용하여 선박의 상하방향 안정성(Vertical Stability)을 자연적으로 확보하게 된다. 한편 표면효과익의 경우 수면과 날개면과의 거리가 적을수록 양력이 증가한다. 즉 양력이 부족하여 WIG선이 수면가까이 떨어지게 되면 추가 양력이 발생되어 WIG선을 다시 부상시킨다. 이러한 이유 때문에 WIG선 또한 상하방향 안정성을 자연적으로 확보하게 된다. 이러한 표면효과는 좌우방향 안정성(Roll Stability)의 확보에도 기여하고 있다.

2.2 표면효과익선의 특성 및 용도

표면효과를 최대한 이용하는 WIG선은 비행기에 비해 양력/항력비를 크게 할 수 있으므로 효율적으로 화물 및 승객을 수송할 수 있으며 또한 선박에 비해

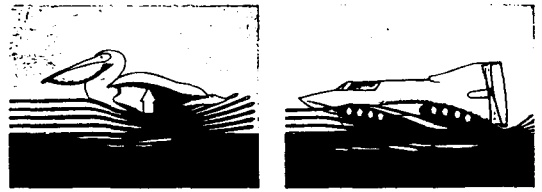


Fig.1 Ground effect for additional lift in birds and WIG ship

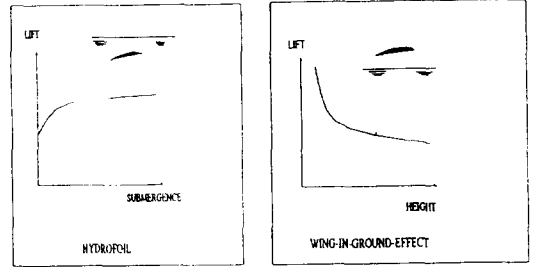


Fig.2 Free surface effect on the lift of hydrofoils

대단히 빠른 속도로 움직일 수 있다. 또한 운항중에는 비행날개 하방에 공기 쿠션을 갖고 비행하기 때문에 승선감이 우수할 뿐아니라 비상시에는 언제라도 수면에 착수할 수 있기 때문에 대형사고의 위험성이 적다. 또한 표면효과는 수면뿐 아니라 얼음, 눈 혹은 육지 상공을 비행할 경우에도 이용할 수 있으므로 운항상 여러 경우에 유연하게 대처할 수 있다. 활주로가 특별히 필요치 않으며 특별한 접안시설이 없이 모래사장에도 직접 상륙이 가능하다. 연근해 도서지방을 방문하는 관광객 혹은 VIP의 운송을 담당할 수 있으리라 생각되며 환자의 긴급수송시 사용될 수 있을 것이다. 한국 서해는 비교적 파도가 낮으므로 서해를 이용한 한-중 항로에 투입된다면 승객 및 화물수송을 담당할 수 있으리라 생각된다. 건설예정인 영종도 국제공항과 연계되는 서해항로를 개발한다면 WIG선이 여객 및 화물수송의 일익을 담당할 수 있으리라 판단된다.

동남아 국가 부근에 산재하고 있는 도서지방은 상주인구가 적어 비행장 건설 및 비행장 시설유지가 곤란한 경우가 많다. 이러한 도서지방을 방문하는 승객 및 화물의 수송에 WIG선이 사용될 수 있을 것이다.

동아시아 지역은 경제 성장이 급속히 진행되고 있으며 국가간 교역량도 급격히 증가되고 있다. 이지역 국가는 대부분 해안선이 발달되어 있어 긴급한 화물수송을 담당할 해상운송수단으로서 WIG선이 사용될 수 있을 것이다. 특히 생선, 야채, 과일과 같이 신선

한 물건을 신속히 운송하는 것이 중요한 화물이나 시간을 다투는 긴급 우송화물(DHL 등)의 수송에 사용될 수 있다.

해난구조선이나 해양탐사선으로 사용된다면 짧은 기간내에 필요한 해역에 즉각 출동하여 효율적으로 임무를 수행할 수 있다. WIG선은 수면위를 낮게 비행하기 때문에 대공 레이더에 포착되지 않으며 수면 레이더에도 탐지될 확률이 낮다. 이러한 특성을 이용하여 해양방위용으로 사용된다면 해양경비선이나 상륙함으로 사용될 수 있을 것이다.

2.3 표면효과익선의 경제성

WIG선의 경제성을 비교하기 위하여 운송속도에 따른 운송효율을 Fig. 3에 보였다. 운송효율은 단위 무게를 단위속도로 운송하는데 필요한 추진마력의 역수로 표시하였다. 여기에서 점선은 Karman-Gabriel선으로 일반적 수송수단의 운송효율 한계선을 나타내고 있다. 예측대로 저속(50km/hr이하)에서는 선박(일반 화물선, 컨테이너선 등)의 운송효율이 매우 높았으며 고속(1,000km/hr이상)에서는 대형 제트항공기의 운송효율이 높았다. 그에 비해 초고속선으로 분류되고 있는 수중익선, 호버크래프트, 쌍동형 선박 등은 운송효율이 낮음을 볼 수 있다. Shinkansen 및 TGV와 같은 고속전철의 운송효율은 상대적으로 높으나 트럭은 운송효율이 낮다. 선박과 항공기의 중간속도 부근인 500km/hr에서 WIG선이 운송역할을 담당할 수 있으리라 생각된다. 현재 개발된 러시아 WIG선 중에는 Orylonok의 운송효율이 가장 우수하다.

운송수단 증량에 따른 운송생산성을 Fig. 4에 보였다. 운송생산성은 재화중량과 속도의 곱과 운송수단 증량과의 비로써 정의하였다. 선박의 운송생산성은 매우 낮았으나 WIG선은 매우 높아 일본의 TSL-A보다 월등히 높았다.

운송수단 증량에 따른 내항성능을 Fig. 5에 보였다. 일반적으로 운송수단의 크기가 커지면 내항성능이 증가함을 알 수 있다. 내항성능은 동일 크기의 수중익선이나 SWATH선보다는 떨어졌으나 Hovercraft와 비슷한 정도의 내항성능을 갖는다. 추후 WIG선이 타 운송수단과 경쟁하기 위해서는 내항성능의 개선이 필수적임을 알 수 있다.

2.4 표면효과익선의 발달과정

새 혹은 날치는 오래전부터 해면효과를 이용하고 있었으나 인간이 표면효과를 이용하기 시작한 것은

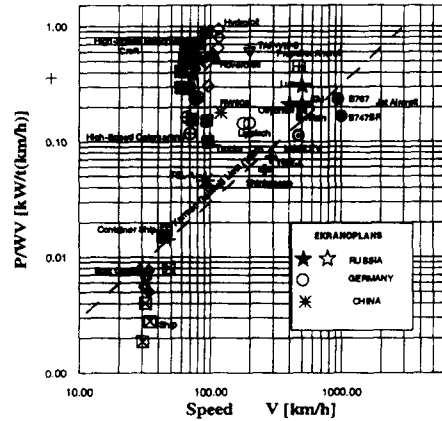


Fig.3 Reverse transport efficiency of WIG ships as compared with other transport vehicles

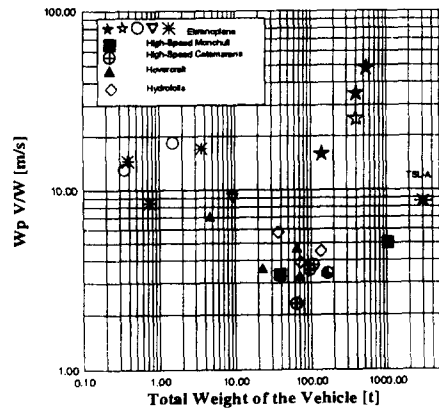


Fig.4 Transport productivity of high-speed marine vehicles

1890년 Ader에 의해서였다. 그후 1930년대에 Finland의 Kaario가 처음 해면효과를 이용한 시험선을 건조한 바 있으나 1960년 이후 러시아, 미국, 프랑스, 일본, 독일, 중국을 중심으로 본격적인 시험선 건조가 추진되었었다. 이 중 러시아는 1961년 시험선 SM-1을 건조한 이후 계속적인 개발사업을 추진하여 길이 90m, 이륙중량 550톤, 최대속도 550km/hr의 KM(Caspian Monster)을 비롯한 여러 종류의 대형 표면효과익선을 개발한 바 있다[1].

미국과 프랑스는 군사목적용 해면효과익선의 개발을 추진한 바 있으며 주로 대잠수함 탐색선으로 개발되었다고 하나 그들의 개발에 관련된 기술자료는 발표되지 않고 있다. 일본과 독일은 민간용 WIG선 개

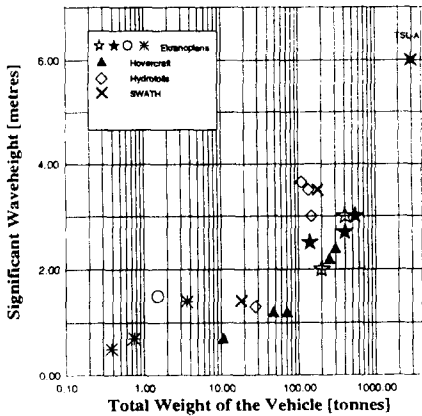


Fig.5 Seaworthiness of high-speed marine vehicle .vs. total weight

발을 주도하고 있으며 독일 Lippisch Aerofoil boat X-112, X-113, X-114와 Jorg의 Airfoil Flair-boat TAF VIII-1,2,3,4가 대표적인 WIG선이며, 일본 Kawasaki가 개발한 KAG-1,2,3 및 Kubo 교수의 Marine Glider μ -Sky I,II가 있다. 또한 중국 CSSRC가 개발한 RAM-WING Vehicle 902와 MARIC이 개발한 PAR WIG Type 750이 있다. 러시아 WIG선의 종류는 3장에서 자세히 언급하였다.

3. 러시아 표면효과익선 개발 현황

3.1 개발 체계

러시아 WIG선은 CHDB(Central Hydrofoil Design Bureau)의 Alexeyev의 주도로 많은 어려움을 극복하면서 개발되어 왔다. CHDB는 설계공사로서 실제 WIG선 설계 및 제작의 책임을 지는 기관이다. 새로운 개념의 WIG선 설계시 많은 이론적 해석 및 모형시험을 수행하게 되는데 이때에는 대학과 연구소가 주도적으로 수행하게 된다. 대표적인 대학으로는 St.-Petersburg Marine Technical University가 있으며 대표적 연구소로는 Krylov Ship-building Research Institute가 있다.

St.-Petersburg MTU는 해양기술분야에 전문가를 양성하는 대학교로서 매년 학부입학생이 약 1000명정도 되는 종합대학이다. 러시아 해군에서 필요한 기술과 인력을 공급해 주는 역할을 주로 하고 있었으며 이곳 졸업생이 러시아 해군과 관련된 여러 곳에서 근무하고 있다. 대학교수들의 자질은 매우 우수한 것으로 보였으며 특히 Prof. Rozhdestvensky 교수는

국제적으로 유명한 교수이다. 연구소나 설계공사에 비해 자연스럽게 접근할 수 있으며 비밀에 대한 통제도 약하여 협력관계가 상대적으로 용이하리라 생각된다.

Krylov SRI는 1894년에 설립된 세계 최대의 선박해양관련 연구소이다. 약 4,000명의 직원이 근무하고 있으며 대형 예인수조, 조종시험수조, 대형 캐비테이션 터널 등 수많은 모형시험 시설을 갖고 있다. WIG선의 개발은 주로 대형 풍동에서 수행되었으며 조종안정성은 원형수조에서 시험평가를 수행하였다. 풍동시험의 책임자는 Dr. Volkov로서 WIG선에 대해 깊은 열정을 갖고 업무를 수행하고 있었다. 추후 한국에서도 본격적으로 WIG선을 개발하게 된다면 Krylov SRI를 잘 이용할 수 있을 것이다.

CHDB는 Mr. Alexeyev의 주도로 WIG선을 개발하여 왔으며 많은 시험선과 Prototype WIG선 건조실적을 갖고 있다. 1980년 Mr. Alexeyev가 사망한 후 새로운 WIG선 개발은 진행하지 못하고 있다. 1993년 WIG선 설계 전문가인 Mr. Sinitsyn을 중심으로 약 100명이 CHDB를 퇴직하고 Technology & Transport라는 회사를 설립하였다. 이후 CHDB의 Mr. Sokolov를 중심으로 한 WIG 설계팀과 T&T는 서로 경쟁관계가 되었다.

T&T는 N. Novgorod에 위치하고 있었으며 약 160명의 직원이 근무하고 있다. Mr. Sinitsyn은 Mr. Alexeyev와 함께 30년간 WIG 개발에 참여하였던 설계전문가로서 유체동역학 및 선형설계분야에 많은 지식을 갖고 있다. CHDB에서 개발하였던 Volga-2보다 성능이 우수한 Passat를 개발중이다. Passat는 95년 6월 시운전 예정이다. 추후 CHDB와 T&T의 경쟁관계를 이용하여 필요한 기술의 확보를 추진한다면 효율적인 기술이전이 가능하리라 생각된다.

3.2 러시아 표면효과익선의 종류

러시아에서 해면효과익선을 Ekranoplan이라고 한다. 러시아말로 Ekran은 표면이란 뜻으로 Ekranoplan은 표면을 이용한 운송수단이란 뜻이다.

러시아 WIG선은 1960년대 초기 R. E. Alexeyev가 주도하는 Central Hydrofoil Design Bureau (CHDB)와 G. M. Beriev가 주도하는 Aviation Construction Bureau가 경쟁적으로 참여하였으나 추후 CHDB가 개발을 담당하게 되었다. R. E. Alexeyev는 다방면의 예술적 재능을 갖고 있었을 뿐 아니라 개발된 WIG선을 직접 운전하는 등 많은 재

Table 1.a Comparison of Russia WIG Ships

	SM-1	SM-2	KM (04, 08) Caspian Monster	LUN ("903" 매	Orlonok ("904" Project) (A. 90. 150) Eagfet
크기			L=90m	L=68m	L=58m Wing Span=31.5m Height=16.0m
이륙중량	3ton	5ton	550ton	400ton	120ton
속도	150km/hr		500km/hr	450km/hr	400km/hr
기관			PAR:8×Turbojet (11ton) Cruise:2×Turbojet (11ton)		PAR:2×Turbofan (10.5ton) Cruise:2×Turboprop (15.5ton)
건조시기	1960	1962	1965	1987	1972년 가을 진수 →74년 여름 시운전
특징	<ul style="list-style-type: none"> · TandemType · rigidity of flight · high speed of detachment (150km/h) 	<ul style="list-style-type: none"> - SM-1 보완 · 주날개 동체하부 · 수평꼬리날개 · PAR 형식 - Basic Vehicle for 1st Generation Russian WIG 	<ul style="list-style-type: none"> · 실용 Ekranoplan · 시험선(SM-5, 8) ※ 항공기 대비 이륙중량 2배 · 선수 PAR 형식 · 수직꼬리날개 · 3m 파고 · 비행고도 20m까지 ※ 1980년 사고, 침몰 조종사 실수 중단 	<ul style="list-style-type: none"> · 미사일 탑재 · SAR로 개조 (#2) 	<ul style="list-style-type: none"> · 시험선(SM-6) · MD-11과 유사 크기 · 주날개끝 End Plate · T-형 꼬리날개 꼬리날개 C.R.P. (D=6m,Thrust =15.5ton) · 3 Prototype C-21, 25, 26 · 1992년 여름사고 - 1명 사망 (WIG 전파)

능을 갖고 있었던 기술자였으며, WIG선 개발을 주도적으로 수행하여 여러사람으로부터 추앙받고 있는 과학자이다.

Alexeyev가 1960년 처음으로 건조하여 시운전에 착수한 시험선은 SM-1이다. SM-1은 이륙중량 3톤의 Tandem Wing type으로 이후 러시아 WIG선 개발에 중요한 이정표를 세운 시험선이다. SM-1은 표면효과를 이용하여 양력/항력비를 증가시켜 초고속으로 항해할 수 있음을 보였고, 활주로 없이 수면에 직접 이착륙하며 적의 레이더에 노출되지 않는 특성을 보였다. 한편 Tandem type의 날개 설치에 의해 상하방향 운동이 경직되어 승선감이 좋지 않은 점과 이륙속도가 상대적으로 너무 높아(150km/hr) 추후 이러한 단점의 개량을 위한 설계가 계속적으로 나타난다 (Fig. 6, Table 1 참조).

SM-2는 이러한 단점을 보완하기 위해서 앞쪽 날개만 표면효과를 받도록 하였으며 뒷면 날개는 수직 꼬리 상단에 높이 설치하여 종방향 안정성을 높일 수

있도록 하였다. 또한 WIG선 전부에 제트엔진을 설치하여 분출되는 공기를 전부날개 하방에 분사시켜 양력증가를 꾀하는 PAR(Power Augmentation Ram-jet) type을 채택하였다. 1962년 건조된 이륙중량 5톤의 SM-2 시험선은 그이후 건조된 여러 종류의 러시아 WIG선의 기본선이 되었으며 이후 대부분의 WIG선은 PAR type을 채택하였다 (Fig. 7 참조). 계속하여 SM-5와 SM-8(1964 ~ 1966) 시험선을 건조한 후 세계 최대의 WIG선인 KM을 1966년 건조하였다.

KM은 이륙중량 550ton, 최대속도 500km/hr로서 서방세계에서는 Caspian Monster로 알려져 있었다. 날개끝에 End Plate를 설치하여 날개 하부의 공기가 덜 빠져 나가게 만들었으며 뒷날개 수평꼬리날개를 크게 하여 종방향 안정성을 상승시켰다. 선수부에 PAR 제트엔진 8개를 설치하여 이착륙시 효율을 증가시켰으며 선미 수직날개에 순항용 제트엔진 2개를 설치하였다. KM의 시운전은 그 이후에도 계

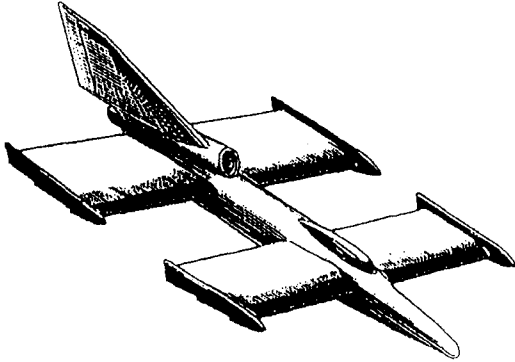


Fig.6 Sketch drawing of Ekranoplan SM-1



Fig.7 Sketch drawing of Ekranoplan SM-2

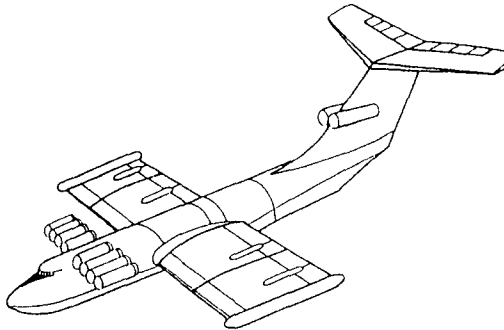


Fig.8 Sketch drawing of Ekranoplan KM



Fig.9 Photograph of Ekranoplan LUN

속되었으나 1980년 조종사의 조종실수로 인하여 침몰하는 대형사고가 발생하여 개발이 중단되었다. 2척의 KM의 건조되었으리라 추측된다 (Fig. 8 참조).

KM의 후속선으로 Lun과 Orylonok가 있다.

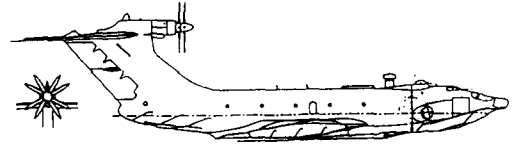


Fig.10 Sketch drawing of Ekranoplan Orylonok

Table 1.b Comparison of Russia WIG Ships

	Volga-2	Strize	Passat	MPE200
용도	8인승	2인승 (조종사 훈련용)	5인승	250인승
크기 (L×B×H)	11.4×7.6×3.3m	11.4×6.7×3.6m	10×5.5×2.8m	57×42×16m
무게	2.5ton	1.7ton	1.5ton	200ton
최대속도	120km/hr	180km/hr	150km/hr	410km/hr
항속거리		500km	600km	3,000km
Engine	95KW×2EA	161KW×2EA	Gasolin	
	강, 호수 및 내항에서 여객 수송	Pilot 훈련용	· 운항고도 : 0.5m · Amphibiousness good · 재질 : composite material · 일반고속선 pilot	· 운항고도 : 2.0m · 장애물 jump-up · 운항효율 증가 · 재질 : Al · 특수훈련 pilot

Lun은 러시아어로 매라는 뜻으로 이륙중량 400ton, 운항속도 450km/hr이다. 개발시에는 미사일 탑재선으로 개발되었으나 2번째 Lun은 해난구난선으로 개조되어 사용중이다. 탑재된 미사일을 순항하면서 발사하였을 경우에도 Lun에는 전혀 안전성에 문제가 없었다고 한다 (Fig. 9 참조).

Orylonok는 시험선 SM-6로부터 개발된 WIG선으로써 이륙중량 120ton, 운항속도 400km/hr이다. PAR mode에서 사용되는 turbofan engine은 선수 상방에서 공기를 흡입하여 날개 하방으로 공기를 불어 넣고 있으며 순항시에는 상반회전 프로펠러를 사용한 Turboprop 엔진을 사용한다. Orylonok의 민수화를 위해 여러 종류의 개량형을 개발하고 있다. 현재까지 개발된 개량형은 승객용, 화물수송용, 해양탐사용, 해난구난용 등이 있다 (Fig. 10 참조).

이외에 소형 WIG선으로 Volga-2, Strize, Passat가 있다. Volga-2는 호수 및 강에서 승객 수송용으로 개발된 선박이며 수륙양용 겸용 특성이 특히 우

수하다. Strize는 KM과 Orylonok와 같은 대형 WIG선의 조종사 훈련용으로 개발되었다. Passat는 Volga-2를 개선하여 안정성과 효율을 크게 개선하였다고 한다.

3.3 발전방향 및 핵심예로기술

표면효과를 극대화하기 위해서는 수면과 날개끝과의 거리를 최소화하여야 하며, 동일한 날개끝 간격을 유지할 경우에는 WIG선의 크기가 커질수록 표면효과를 크게 할 수 있다. 현재 러시아의 경제사정으로는 상업용 대형 WIG선 개발에 필요한 연구개발 자금을 국내에서 조달하기 어렵기 때문에 외국과의 협력사업을 추진하고 있다. 한편 외국업체는 러시아 WIG 기술의 실체를 명확히 알 수 없어 투자에 소극적이다.

현재까지 조사된 외국과의 협력사업은 대만과 T&T간에 협력사업이 성사되어 Passat 개발이 추진 중이다. 미국의 Aerocon 회사는 대서양 횡단 화물수송용 대형 WIG선의 개발을 추진하였으나 현재 중단 중으로 알려져 있다. 독일은 50~70인승 Raketa type WIG선의 공동개발을 추진중이라 한다. 러시아에서 개발된 WIG선은 군사용으로 개발되었기 때문에 경제성에 대한 개념이 약하다. 러시아 WIG기술을 이용하여 상업성있는 WIG선을 개발하기 위해서는 다음과 같은 핵심예로기술의 개발이 필요하다.

● 종안정성(Longitudinal Stability) 확보기술

항공기나 잠수함과 유사한 작동원리를 갖는 WIG선은 종안정성이 문제가 된다. 종안정성을 확보하기 위해 꼬리날개의 크기를 크게 하였으나 이로 인한 표면마찰저항이 증가하여 양력/항력비가 저하되었다. 꼬리날개의 면적이 적어진 상태에도 종안정성을 유지하기 위해서는 안정성을 향상시킨 새로운 날개단면의 개발이 필요하다. Kornev는 S-shape 날개단면의 사용을 제안한 바 있다[2].

● 내항성능(Sea Worthiness) 향상기술

WIG선은 이륙 및 착륙시 해상상태의 영향을 많이 받게 된다. 해상상태는 항상 변화하고 있으며 신뢰성 있는 운항을 보장하기 위해서는 나쁜 해상조건에서도 운항할 수 있는 내항성능 향상기술이 개발되어야 한다. 한국 근해의 해상조건은 파고 0.5m 이하인 경우는 30% 정도이고 파고 2.0m 이하인 경우에는 86% 정도이다. 그러므로 소형 WIG선의 경우에도 최소한 파고 2.0m 이하에서는 운항이 가능하여야만

실제 항로에 투입할 수 있을 것이다. WIG는 일단 이륙하면 순항상태에서는 비교적 높은 파고에서도 운항이 가능하다. 그러므로 일정한 항로를 운항하는 WIG선의 경우에는 출발시 내항에서 이륙하여 도착항 내항에서 착수하는 경우를 생각한다면 비교적 높은 파고의 해상상태에서도 운항가능하리라 생각된다.

- WIG선에 작용하는 양력의 크기는 날개 면적에 비례하고 속도의 제곱에 비례한다. 한편 WIG선의 중량은 길이의 3승에 비례한다. 대형 WIG의 경우에는 선속을 증가시켜 같은 날개면적으로도 커다란 양력을 낼 수 있다. 소형 WIG선의 경우에는 최적의 Aspect Ratio를 결정하여야만 추진효율이 우수하고 운항속도가 적절한 WIG선을 설계할 수 있다.
- WIG선은 파도에 의해 반복적 하중을 받을 뿐 아니라 이수 및 착수시 파도에 의한 충격하중을 받기 때문에 정확한 구조해석 및 최적구조 치수설계가 이루어져야 된다. 특히 날개 밑면 수면과 접촉하는 부분의 구조해석 및 재질선택은 매우 중요하다.
- 가스 터어빈, 공기 프로펠러, PAR용 제트엔진의 내부식성 및 Coating 기법이 매우 중요하다. 모래사장에 상륙할때 모래에 의해 작동부분의 손상이 문제가 된다.

4. 결론 및 제언

러시아 WIG선 기술조사 연구를 통하여 러시아 WIG선 기술수준과 개발주체를 파악할 수 있었으며 추후 러시아와의 협력사업 추진시 많은 도움이 되리라 판단된다. 기술조사단 구성에 의한 러시아 방문, 해외 전문가 초청에 의한 Workshop 개최를 통하여 수집된 러시아 WIG선 관련 기술수준 및 앞으로의 사업추진방향을 다음과 같이 정리하였다.

- 러시아의 WIG선 관련 기술수준은 세계 최첨단의 위치를 차지하고 있다. 1960년 이후 여러 종류의 시험선을 건조한 실적이 있으며 시험선으로부터의 기술자료를 이용하여 몇종류의 대형 WIG선을 건조한 실적이 있다.
- 러시아 WIG선 개발을 담당하였던 기관들은 중앙정부의 지원이 대폭 삭감된 후 재정적 운영이 매우 어려운 상태이다. 효과적인 재정지

원에 의해서 러시아기관의 참여를 기대할 수 있으며 비교적 저렴한 가격에 최첨단 WIG 기술을 도입할 수 있으리라 판단된다.

- 러시아 WIG선은 기본적으로 군사용으로 개발되었다. 사회주의 체제하에서 개발되었기 때문에 원가개념이 없어 상용화에 어려움이 따르고 있다. 상용화를 위해서는 극복해야 될 핵심애로기술을 도출하고 그들을 확보하기 위한 대책을 수립하여야 된다. 한국의 조선 생산기술과 러시아의 조선 설계기술을 접목한다면 훌륭한 결과가 도출될 것이다.
- WIG선의 상용화를 위해서는 종안정성 확보, 내항성능 향상, 최적 선형 선장, 충격하중을 고려한 구조경량화, 새로운 재질사용 등과 같은 핵심애로기술의 개발이 계속되어야 될 것이다. 이러한 문제가 해결되어 경제성이 확보된다면 차세대 초고속 해상운송수단으로 각광 받을 수 있으리라 생각된다.
- WIG선 상용화는 장기적으로 추진해야 될 과제라고 생각되며 관련기술을 도입하여 국산화하기 위해서는 각 기업체가 개별적인 접촉을 통하여 추진하는 것보다 당 사업추진사와 같이 콘소시움을 구성하여 추진하는 것이 보다 효율적이라고 생각된다. 콘소시움을 통하여 수집된 자료는 참여업체가 공동으로 이용할 수 있으며 추후 상용화를 위한 대형 WIG선 개발시 많은 참고가 될 것이다.

후 기

당 기술조사사업은 STEPI 한.러 과학기술협력사업으로 수행되었으며 조선4사와 KRISO가 참여자로 콘소시움의 형태로 추진되었다. 조선기술 발전을 위한 협력관계인 동시에 상호 경쟁관계에 있는 조선4사가 공동참여하여 협력사업을 추진하였던 것은 매

우 뜻있는 일이었다. 러시아 출장시 흥미있었던 에피소드를 기억하며 같이 참여하였던 장학수, 김용수 회원께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Rozhdestvensky, K., "State-of-the-Art of Russian R&D on Ekranoplans," Workshop on WIG Ship Technology, June 1995, KRISO.
- [2] Kornev, N., "Problems of Stability in Ekranoplans," Workshop on WIG Ship Technology, June 1995, KRISO.
- [3] Rozhdestvensky, K., "A Mathematical Model of Aerodynamic of a Lifting System in Extreme Ground Effect," Workshop on WIG Ship Technology, June 1995, KRISO.
- [4] Rozhdestvensky, K., "Evaluation of Some Cruise and Take-off Parameters of Main Lifting System of Ekranoplan on the Basis of the EGE Mathematical Model," Workshop on WIG Ship Technology, June 1995, KRISO.
- [5] Kubo, Syozo, "A New Method of Transportation between Asian Countries : Wing-In-Ground Effect Craft," Workshop on WIG Ship Technology, June 1995, KRISO.
- [6] Kubo, Syozo, "Mode Changes of Transportation : Possibility of Wing-In-Surface Effect Craft in Asian Countries," Workshop on WIG Ship Technology, June 1995, KRISO.