

WIG 선 상용화에 대한 타당성 연구

마산지방해양수산청 해양환경과 백진수

The Viability of Commercializing Wing-In-Ground (WIG) Craft in connection with Technical, Economic and Safety aspects followed by IMO Legislation.

ABSTRACT

The dissertation is a study of the viability of commercialization of the Wing-In-Ground (WIG) craft, which is a novel type of marine transportation, currently being developed, so not yet commercialized in full scale.

A brief look is taken at present development, and at the historical overview of WIG craft. The main principles and technical issues of WIG craft are examined, taking into account whether there are technical barriers or not. On account of the inherent peculiarities of WIG craft, which possess the characteristics of both aircraft and ship, the legal status of WIG craft is obscure to some extent. The legal status of WIG craft is involved with IMO and ICAO, current international legislations and legal issues of WIG craft are examined. Economic reasonableness for WIG craft is analyzed in both theoretical and practical methods. Economic efficiencies and effectiveness of WIG craft are evaluated by various theories. Directing operating costs are analyzed and evaluated, comparing the results of WIG craft obtained by the model with those of other vehicles for the purpose of examining economic reasonableness. Additionally, safety related matters which are essential for commercialization of WIG craft are discussed. A few recommendations are made to encourage commercialization of WIG craft.

KEYWORDS: WIG craft, Ground effect, Viability, Commercialization, Operating Cost, IMO, Economic, Efficiency, Regulations, Competitive, Feasibility, Safety.

TABLE OF CONTENTS

ABSTRACT	i
TABLE OF CONTENTS	ii
1. 서 론	1
1.1 배경	1
1.2 연구의 목적	3
2. WIG선의 주요 원리 및 기술적 이슈	1
2.1 WIG선의 항공유체역학적 원리 및 특성	1
2.1.1 지면 효과	1
2.1.2 Breguet Range	5
2.1.3 프루드 수 (Froude number)	5
2.1.4 유체 항력과 요구 동력	7
2.1.5 감항성	8
2.2 WIG선의 분류(IMO/ICAO 분류)	9
2.2.1 목적에 의한 분류	9
2.2.2 항공 역학적 성능에 의한 분류	10
3. WIG선의 경제적 타당성(Economic Reasonableness)	11
3.1 비교 분석	11
3.1.1 카만-가브리엘리 다이어그램	11
3.1.2 수송생산성	13
3.1.3 수송유효성(Transport Effectiveness)	17
3.1.4 수송계수(Transport Factor)	19
3.2 모델항로 원가분석	21
3.2.1 개요	21
3.2.2 분석방법	22
3.2.3 총 직접운용원가의 추정	2
3.2.4 시나리오	3
3.3 결론	12
4. WIG선에 대한 국제법 검토 및 IMO의 역할	14
4.1 개요	14
4.2 IMO 활동	15
4.3 WIG선에 대한 현행 국제 기준	16
4.3.1 WIG선의 법적 지위	16
4.3.2 WIG선 잠정 가이드라인(Interim Guidelines for Wing-In-Ground (WIG) Craft)	18
4.3.3 개정된 1972 국제해상충돌예방규칙(Revised COLREG 1972)	19
4.3.4 WIG선에 대한 STCW 권고	19
4.4 Prescriptive Regulation vs. Safety Case Approach	20
5. WIG선의 안전문제	23

5.1 개요	23
5.2 운항적인 측면	23
5.2.1 안전운항고도	23
5.2.2 충돌회피	24
5.3 인적요소	27
5.3.1 항공사고 vs. 해난사고	28
5.3.2 수행수준(Performance Levels)	29
5.3.3 조종자원관리 vs. 선교자원관리	30
5.4 안전평가(Safety Assessment)	32
5.4.1 안전평가절차	33
5.4.2 안전관리 (Safety Management)	34
6. 결 론	36
End Notes	40

1. 서 론

1.1 배 경

1967 년 서방의 한 정보 기관이 정보 위성을 통하여 카스피안해 해면 위를 낮게 떠서 엄청난 속도로 움직이는 커다란 괴물체를 발견하였다. 이 전까지 알려지지 않았던 550 톤에 달하는 이 물체는 구 소련에 의해 제작된 KM으로ⁱ “카스피안해의 괴물”(Caspian Sea Monster)로 이 후 널리 알려졌다. 철의 장막 시대에 구 소련이 철저히 비밀에 부쳤던 “카스피안해의 괴물”은 이 후 서방측에 연구로 이 것은 수면에 근접하여 비행할 때 발생하는 흥미로운 자연적 현상인 지면 효과를 이용하여 비행하는 WIG선(Wing-in-Ground Effect Craft)으로 밝혀졌다.

전통적인 선박 중에 가장 빠른 선박인 하이드로포일 또는 휴버크라프트 같은 고속선도 수면 접촉으로 인하여 발생하는 높은 유체 저항으로 속력이 80 내지 120km/h로 제한된다.ⁱⁱ 반면, 지면 효과를 이용하는 WIG선은 동적인 공기 쿠션(Dynamic Air Cushion)을 이용하여 수면 접촉을 하지 않음으로 항공기에 버금가는 빠른 속도로 운항할 수 있다. 물과 공기의 밀도비는 약 800 대 1 임을 고려하면 WIG선이 받는 저항과 전통적인 선박이 받는 저항의 정도는 더욱 명확하여 진다.ⁱⁱⁱ

역사적으로 WIG선에 대한 개념은 1935 년에 WIG선을 제작한 핀란드 엔지니어 T. Kaario로부터 처음 시작되었으며, 1930 년대 후반 스웨덴의 과학자 Troeing에 의해 연구가 이어졌다. 그러나 실용적인 측면에서 WIG선 개발은 1950 년대의 구 소련의 과학자이며 WIG선 개발의 선구자인 R.Alexeyev에 의해 구현되었다고 할 수 있다. 1966 년 R. Alexeyev는 “카스피안의 괴물”로 불려졌던

대형 WIG선인 KM을 개발하였으며 이것은 그 당시 전 세계에서 가장 큰 비행체였으며 현재까지 가장 큰 WIG선으로 남아있다.^{iv} 구 소련이 WIG선의 연구와 개발에 선구자적인 역할을 하였으나 1991 년 소련 연방이 붕괴되면서 경제적 어려움에 봉착하여 더 이상 WIG선에 대한 개발을 진행할 수 없었다. 러시아의 WIG선은 WIG선이 기술적으로 실현 가능함을 보여주고 있지만 경제적인 측면에서의 민간 용도로는 부적합하였다.^v 한편, 독일에서의 WIG선 개발은 1964 년에 시작되었으며 H. Fischer와 A. Lippisch는 실험적 목적의 WIG선인 X-112, X-113 그리고 X-114 를 개발하였다. 미국에서는 1967 년에 “카스피안해의 괴물” 을 직접 발견하였던 미국 정보 당국의 분석가이며 항공 과학자인 Steven Hooker가 중량이 5000 톤에 달하고 유상 하중이 1500 톤에 달하는 거대한 WIG선인 “Wingship”을 개발할 목적으로 1984 년 “Aerocon”이라는 회사를 설립하고 미국 국방성에 투자를 제의하였지만 미 국방성의 고등연구기획처(US Defense Advanced Research Project Agency (ARPA))는 이 계획의 기술적 타당성에 의문을 던지면서 후일의 과제로 남겨 두었다.^{vi}

S. Hooker의 대형 WIG선의 개발과 관련하여, 미국 보잉사는 최근 컨셉 항공기를 개발 중에 있다고 발표하였다.^{vii} 보잉사의 계획(Boeing Phantom Works)에 의하면 공식적으로 Pelican Ultra Large Transport Aircraft으로 불리 우는 이 항공기는 역사상 가장 큰 항공기가 될 것이며, 이 항공기는 지면 효과를 이용하여 비행함으로 운항 고도는 20 피트 밖에 안될 것으로 밝히고 있다. 이 항공기는 날개 길이가 150 미터에 달하고 1400 톤의 유효 하중을 가진다. 이 항공기의 거대한 유효 하중과 WIG선이 가지는 경제적 효율을 고려할 때, 이 컨셉 항공기의 개발이 현실화 되면 펠리칸은 실제로 컨테이너 선박과 경쟁적인 관계에 놓일 것으로 예상 된다. 한편, 1980 년대부터 소형의 WIG선이 민간 레저용으로 개발되기 시작하였다. 이러한 민간용 소형WIG선의 표준형은 표

1.1 과 같다. 또한 WIG선에 대한 연구 개발이 우리나라를 비롯하여 호주, 중국, 독일, 일본, 러시아, 타이완, 그리고 미국에서 지속되고 있다. 그러나 WIG선에 대한 연구 개발과 논의는 활발하게 이뤄지고 있지만 현재까지 WIG선의 의미 있는 상용화는 아직 실현되지 않고 있다.

Table 1.1 - Current Prototype WIG craft

Name	Country/ Manufacturer	Year	Weight/Seat	Speed	Purpose
Amphistar	Russia/MAC.		1900 kg/4 seat	80 knots	Recreational
Volga 2	Russia/SDPP	1986	2700 kg/10 seat	60 knots	Small Ferry
Jorg 6	Germany/Jorg	1991	3150 kg/7 seat	80 knots	Small Ferry
Airfish 3	Germany/F.F	1990	650 kg/	65 knots	Recreational
Hoverwing	Germany/T.T	1997	915 kg/2 seat	65 knots	
X-114	Germany/RFB	1977	1500 kg/6 seat	100 knots	Military
L-325	USA/Flarecraft		550 kg	65 knots	Commercial
Ram 902	China/CSSRC	1984	385 kg/1 seat	65 knots	Test
Galmaegy 4	Korea//KORDI	2002	4 seat	65 knots	Test

1.2 연구의 목적

원래 WIG선 은 구 소련에서 군사용의 목적으로 연구 개발이 출발하였으나 오늘날의 WIG선 개발은 민간용 또는 상업용 용도 WIG선에 대한 관심이 증폭되고 있다. 이러한 맥락에서 현재 우리나라를 비롯하여 호주, 중국, 독일, 이탈리아, 일본, 러시아, 그리고 미국 같은 여러 나라에서 WIG선의 상용화에 대해 연구를 진행하고 있다. ^{viii} WIG선이 현대적이고 혁신적인 운송 수단으로 보여지지만 아직도 본격적인 상용화가 이루어지지 못한 것은 이러한 종류의 비 전통적인

선박의 도입에 따르는 기술적 타당성, 경제적 합리성 그리고 안전에 대한 불확실성과 개발에 대한 리스크가 크기 때문이다. 또한 S. Hooker는 컨테이너선박과 경쟁할 수 있는 대형 WIG선만이 경쟁력을 가질 수 있다고 주장하였지만 WIG선이 갖는 기술적, 경제적 그리고 안전 문제와 관련하여 소형 WIG선의 개발과 실제적인 상용화가 선행 되지 않고서는 이러한 대형 WIG선 개발은 불가능 하다고 할 수 있다.

이와 같은 관점에서 본 논문의 주 목적은 WIG 선의 주요 원리 및 기술적 이슈를 검토하고, 경제적 측면에서 WIG 선 상용화의 타당성 연구, 법률적 측면에서 관련 국제 규칙의 검토, 그리고 안전성 문제와 관련된 이슈 등을 논의하고자 한다.

2. WIG 선의 주요 원리 및 기술적 이슈

2.1 WIG 선의 항공유체역학적 원리 및 특성

2.1.1 지면 효과

먼저, WIG선에 대한 기본 개념은 지면 효과(또는 표면 효과)라는 것은 명확하다. 지면 효과는 WIG선의 날개가 지면에 접근할 때 날개와 지면 사이에 갇힌 밀도 높은 압축된 공기 쿠션에 의해 발생하는 것이다. 이 지면 효과는 WIG선의 동적 양력을 증가 시키고 양력을 얻기 위한 동력을 감소시키며 연료 소비를 감소시킨다. 모든 항공기는 이륙하거나 착륙할 때 지면 효과를 경험한다. 항공기에 발생하는 지면 효과로 조종사들은 이륙 또는 착륙 중 발생하는 추가적인 양력에 의해 항공기가 활주로를 이탈할 수 있어 특별한 주의를 기울인다.^{ix} 이러한 현상은 자연 속에서 조류나 어류 등이 효율적으로 비행하는 모습에서도 발견된다.^x 지면 효과에 대하여 이론적으로 살펴 보면 다음과 같다.

비행체가 비행을 할 때, 날개 아래에 높은 압력이 형성되고 날개 위에 낮은 압력이 형성된다. 이러한 날개 표면 사이에 차압은 날개가 양력을 받아 비행할 수 있도록 하며 날개 끝에서 높은 압력에서 낮은 압력으로의 이동하는 공기에 의한 소용돌이가 발생한다. 날개 끝에서 발생하는 이 소용돌이는 익단 와류(wingtip vortex, 또는 trailing vortex)라 한다. Fig.2.1 은 날개가 비행할 때 생성되는 익단 와류를 보여준다.

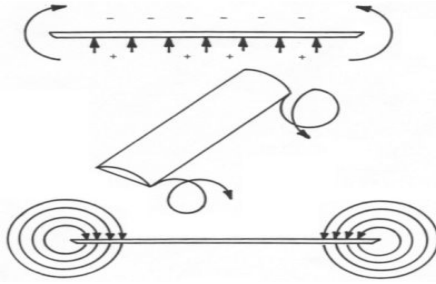


Fig. 2.1 – 익단와류의 생성 (Source: Scoott (2003))^{xi}

날개가 비행할 때, 공기의 관성에 의해 공기의 흐름은 아래로 흐른다. 이 현상을 다운 워시(downwash)로 부르며 이것은 날개의 의해 생성되는 양력을 감소시킨다. 이 다운 워시에 의해 감소되는 양력을 보완하기 위하여 날개는 보다 높은 받음각(angle of attack)을 취해야 하며 이것은 날개에 의해 생성되는 저항을 증가시킨다. Fig.2.2 는 양력의 생성(L), 날개의 운동에 의해 발생하는 유도 항력(D_i) 그리고 날개의 받음각의 위치를 보여주고 있다.

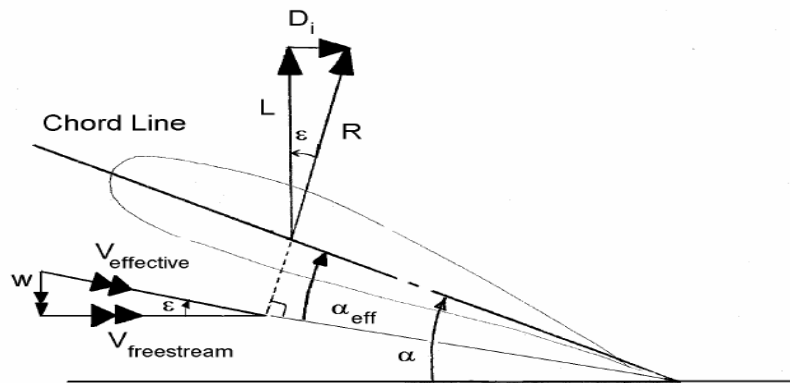


Fig.2.2 – 양향력의 형성 (Source: Halloran & O'Meara (1999))^{xii}

날개의 받음각의 증가(α)와 함께 양력 계수(C_L)가 동시에 증가하나 받음각이 최대 한계에 도달하면 급격하게 감소한다. 게다가 유도 항력의 증가와 함께 저항

계수(C_D)는 양력 계수(C_L)의 증가와 더불어 증가한다. Fig.2.3 은 받음각과 양력 그리고 항력의 관계를 나타낸다.

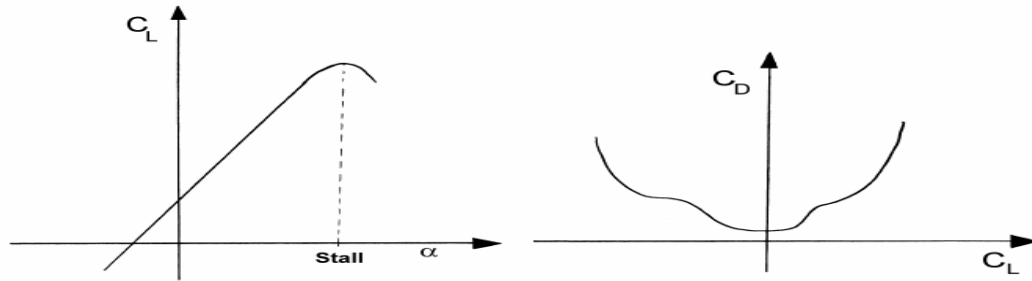


Fig.2.3 - Aerodynamic Relations for angle of attack, lift and drag of a Wing^{xiii}

지면 효과에서 비행 성능은 다음 식과 같이 양력 계수(C_L)와 항력 계수 (C_D)로 표현할 수 있다.^{xiv}

$$C_L = \left(\frac{W}{S} \right) \frac{1}{q} \quad (2.1)$$

W/S - 날개의 하중(W : 동체의 무게, S : 양력면 평면적)

q - 동적공기압 ($\frac{1}{2}V^2$)

$$C_D = C_{D_0} + \frac{K(h)}{\pi \cdot A} \times C_L^2 \quad (2.2)$$

C_{D_0} - 점성 항력과 다른 항력의 합

$\frac{K(h)}{\pi \cdot A}$ - 와류항력계수 ($K(h)$: 상대고도계수, A : 날개의 종횡비)

신명수 등(1996)^{xv}은 지면효과와 관련한 실험적 연구를 통하여 “날개가 지면에 접근할 때 유도항력은 지면에 의해 방해 받는 와류의 감소에 의해 감소되며 이것은 총 항력의 감소를 가져온다” 라고 밝혔듯이 날개가 지면에 접근할 때, 와류는 지면에 의해 부분적으로 차단되어 다운 워시가 상당히 감소한다. 그 결과 유효한 불임각은 증가하고 이것은 양력의 증가와 유도 항력의 감소를 초래한다. 즉, 다시 말하면 지면 효과에서 일반적으로 비행체의 효율을 나타내는 양력과 항력의 비가 증가한다. 이러한 현상을 지면 효과라고 부른다. 앞서 언급한 바와 같이, 날개가 지면에 가까워 질수록 이 현상은 점점 더 강하게 나타난다. 지면 효과를 가져오는 유효 고도와 관련하여 카터(1961)^{xvi}는 다음 Fig.2.4 와 같이 실험을 통하여 두 개의 다른 날개 단면적에 대한 경계상 고도와 양항비간의 관계를 보여준다. 이 그래프는 날개가 경계에 근접할수록 양항비가 증가함을 명확하게 보여주고 있다. 또한 날개에 설치되는 종판의 긍정적인 효과도 나타낸다. 지면효과는 지면으로부터 비행체의 날개의 익현(Wing Chord) 높이 정도에서 일어나는 현상이라고 알려져 있다.^{xvii} 일반적으로 항공 역학의 효율을 보여주는 양항비(L/D) 와 관련하여 전형적인 항공기의 양항비는 15 내지 20 이나 WIG선의 이론적 양항비는 지면 효과로 인하여 25 내지 30 에 달한다.^{xviii}

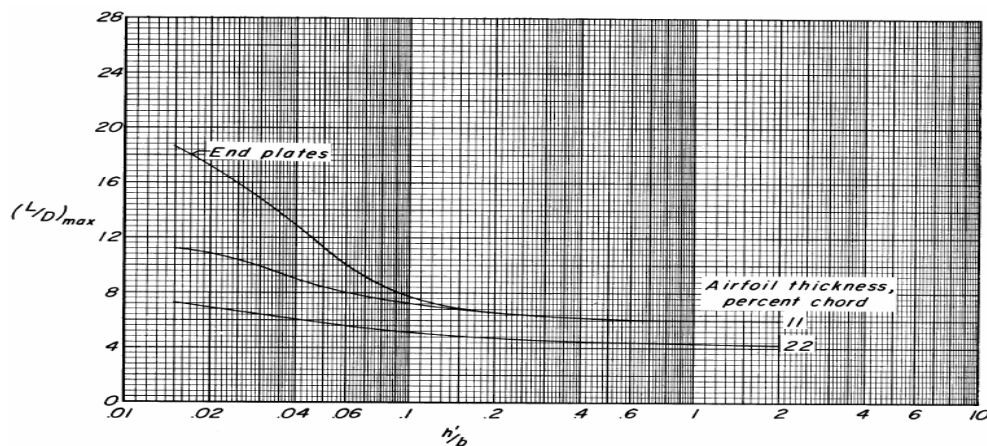


Fig. 2.4 - Lift to Drag Ratio versus Height above the Boundary(Source: Carter (1961))

2.1.2 Breguet Range

Breguet range 는 항공기의 효율성을 분석하는 전통적인 방법으로 정해진 유효 하중으로 정해진 거리를 비행하는 능력을 나타낸다. Breguet range 는 비행체의 양항비와 직접적인 관련이 있어 WIG 선의 이론적 장점을 매우 효과적으로 증명하고 있다. Breguet range 는 다음과 같이 정의된다.

$$Range = \frac{\eta_p}{C_p} \cdot \frac{L}{D} \cdot \ln \frac{W_i}{W_i - W_f} \quad (2.3)$$

η_p - 추진효율

C_p - 비교 연료소비율

L/D - 양항비

W_i - 초기 중량

W_f - 연료 중량

Breguet range 식은 세 가지 매개 변수 즉, 추진 시스템의 효율(η_p / C_p), 공기 역학적 효율(L/D), 그리고 비행체의 구조와 소재의 효율($W_i / (W_i - W_f)$)로 구성된다. 상기의 식에서 알 수 있듯이 양항비의 증가는 정해진 유상 하중으로 비행할 수 있는 거리를 증가시키는 효과를 가져온다.

2.1.3 프루드 수 (Froude number)

프루드 수는 선박의 비교 속력, 선박의 길이 또는 배수량과 관련 있는 계수이다. 이것은 관성력에 대한 중력에 대한 비로 해석될 수 있다. 다른 방법으로 프루드 수는 유체 속에서 점성 저항과 조파 저항간의 관계로 설명될 수 있다. 점성

저항은 낮은 프루드 수에서 지배적인 저항이며, 높은 프루드 수에서는 조파 저항이 지배적이다. 프루드 수는 다음과 같이 표현된다.

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{g^3 \nabla}} \quad (2.3)$$

V - 선박의 속도, [m/s]

g - 중력가속도 [m/s²]

∇ - 선박의 배수량 체적 [m³]

바진(1997)^{xix} 등 에 의하면 프루드 수는 역학적인 측면에서 선박을 분류하는 주요 기준이 된다. Fig.2.8 과 같이, 모든 선박은 프루드 수에 의해 분류될 수 있다. 30 노트 미만의 전형적인 배수량 선박은 프루드 수가 1.5 미만이며, WIG선의 프루드 수가 가장 높다. 일반적으로 200 내지 400 노트로 비행하는 시플레인의 프루드 수는 20 내지 35 이다

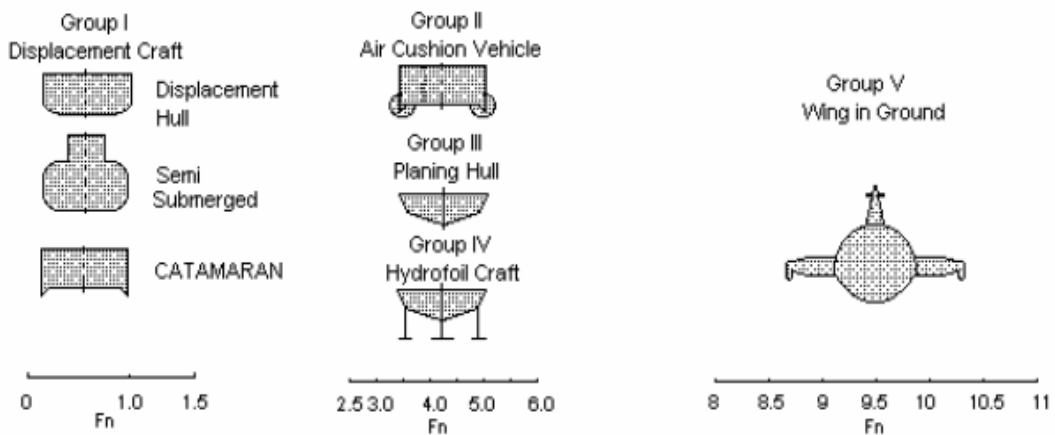


Figure 2.8 - Froude Numbers Corresponding to Marine Vehicles

(Source: *Advanced Vessel Technologies: The University of Alabama*)^{xx}

2.1.4 유체 항력과 요구 동력

지면 효과를 가지는 WIG 선의 효율은 항공기보다 높다는 것은 분명하다. 이러한 장점에도 불구하고 WIG 선은 이수시 수면으로부터 큰 유체 저항이 발생하는 중요한 단점을 가지고 있다. 이것은 WIG 선이 지면 효과를 가지기 위해서는 수면의 유체 저항을 극복하여야 하는데 이를 위하여 큰 동력을 필요로 한다는 것이다. 또한 항공기와 달리, 이러한 동력은 운항 중 운항 속도를 높이기 위한 용도로 전부 다 사용될 수 없다는 것이다. Fig.2.6은 WIG 선이 이수하기 전 발생하는 높은 험프 저항을 보여준다. 그러나 그린(1997)에 의하면, 이러한 유체 저항은 정적부양장치를 장치한 선박인 휴버플레인의 예 처럼 부양보조장치와 같은 특별한 설계를 통해 감소될 수 있다고 한다.

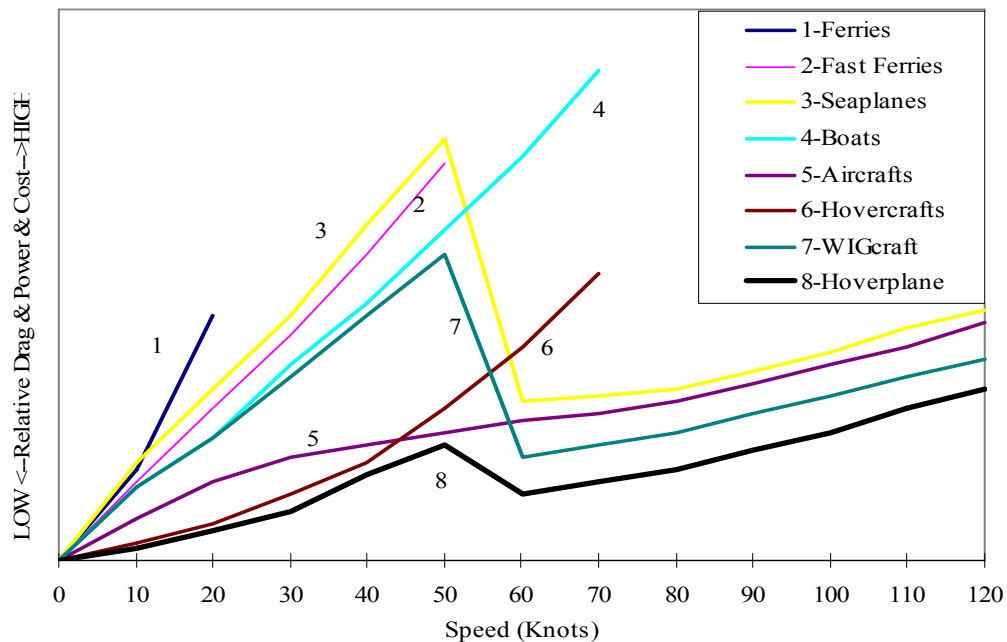


Fig.2.6 - Speed vs. Relative Drag & Power & Cost of Vehicles

(Source: Greene (1997))^{xxi}

2.1.5 감항성

감항성은 WIG 선의 성공적인 상용화에 주요한 요소이다. 왜냐 하면 감항성은 WIG 선의 연간 운항일수에 직접적으로 영향을 미치기 때문이다. WIG 선이 만족할 만한 감항성을 가지지 못한다면 WIG 선의 상용화 가능성은 희박할 것이다. 또한 감항성은 안전 문제와도 관련이 있다. 대체적으로 WIG 선은 고속선과 비교하여 보다 좋은 감항성을 가지고 있다. Fig.2.9 에 의하면 고속선은 파고에 매우 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다. WIG 선은 해면 위에서 운항하므로 WIG 선의 감항성은 해상 상태에 보다 적은 영향을 받는다. 그러나 파도와의 접촉을 피하기 위하여 보다 높은 고도에서 운항하여야 하므로 지면 효과의 효율은 저하된다.

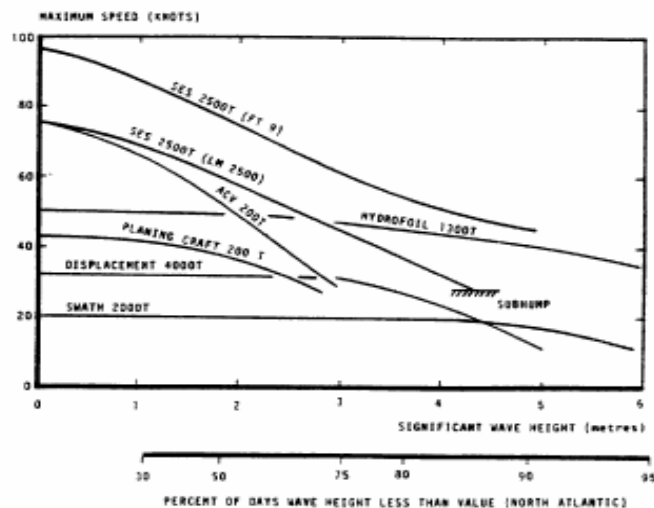


Fig.2.9 - Wave State and Performance of Fast Ships^{xxii}

(Source: Halloran, M. & O'Meara, S. (1999))

사실, WIG 선의 감항성은 해상의 파고에 영향을 적게 받는다고 해도, WIG 선이 지면 효과 안에서 운항할 때 WIG 선이 경제적 의미를 가질 수 있으므로 경제적 감항성을 고려하여야 만 한다. 이러한 관점에서 Rozhdestvensky 는

WIG 선의 경제적 효율을 감안한 감항성을 그림 2.10 과 같이 검토하였다. 대체적으로 WIG 선의 경제적 감항성 또한 고속선에 비해 우수함을 알 수 있다. 그러나 앞서 언급하였듯이 지면 효과는 날개의 익현에 비례하므로 소형 WIG 선의 감항성은 매우 제한 된다.

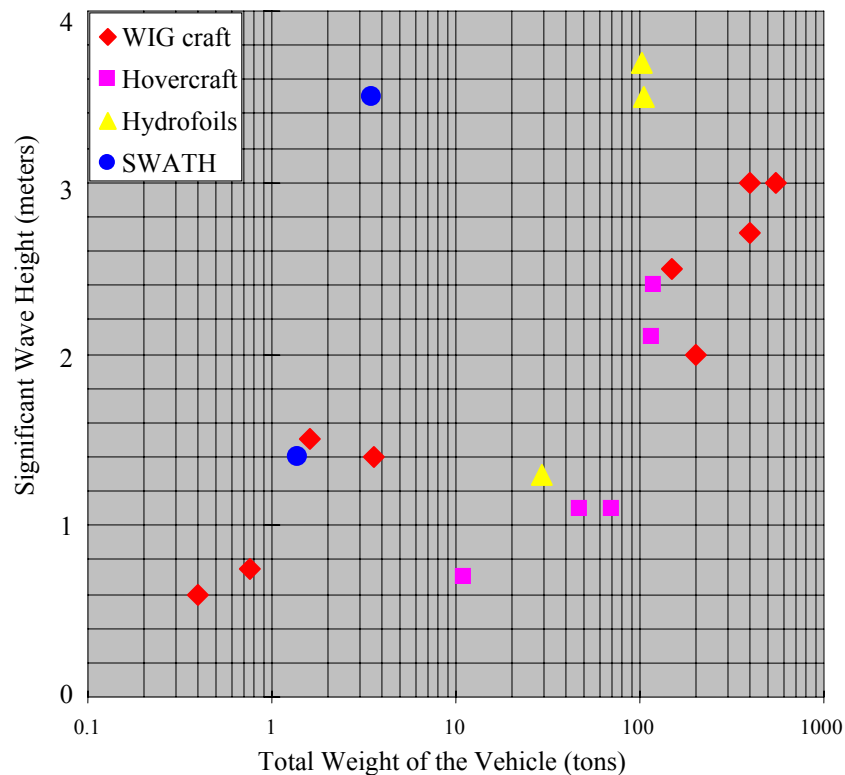


Figure 2.10 - Economic Seaworthiness of WIG crafts Compared to other Vehicles

(Source: Rozhdestvensky (1996))^{xxiii}

2.2 WIG 선의 분류(IMO/ICAO 분류)

2.2.1 목적에 의한 분류

WIG선 잠정 가이드라인에 의하면 WIG선은 사용 목적에 의해 두 가지 타입, 즉 여객선과 화물선으로 분류된다. SOLAS 1974 제 1 장 2 규칙에 의한 여객선

정의와 동일하게 12 명 이상의 여객을 수송할 수 있는 WIG선은 여객선으로 분류되며 그 외 WIG선은 화물선으로 분류된다.^{xxiv} WIG선의 여객선의 정의와 관련하여, 고속선안전기준의 구조 측면에서의 개념이 동일하게 적용된다.^{xxv} 구조가 4 시간 안에 가능한 구역만을 운항하는 WIG선은 여객과 승무원을 보호하기 위한 구조 장비 등에 대한 능동적 및 수동적 조치가 경감된다. 이러한 선박은 WIG선 잠정 가이드라인에 의하면 assisted craft라고 하며, 국제고속선기준에 의하면 A형 여객선이라고 한다. 그 반대로 구조가 쉽게 가능하지 않은 구역에서 운항하는 선박은 요구되는 필수적인 기기를 포함한 추가적인 안전예비장치를 갖추어야 하며 이러한 선박은 WIG선 잠정 가이드라인에 의거 unassisted craft라고 하며 HSC 코드에 의거 B형 여객선으로 분류 된다^{xxvi}. 따라서 여객 WIG선의 운항 특성에 따라 assisted craft 또는 unassisted craft로 분류된다.

2.2.2 항공 역학적 성능에 의한 분류

상기와 같은 WIG선의 분류와 달리 WIG선은 항공역학적 성능에 따라 다음과 같이 분류 된다.^{xxvii}

Table 2.1 – 항공역학적 성능에 의한 WIG 선 분류

Type of Craft	Aerodynamic Capabilities
Type A	Operation only in ground effect.
Type B	Temporarily fly-over capabilities but not exceeding 150 m above the surface.
Type C	Operation outside of ground effect and exceeding 150 m above the surface.

3. WIG 선의 경제적 타당성(Economic Reasonableness)

3.1 비교 분석

3.1.1 카만-가브리엘리 다이어그램

새로운 형식의 교통 수단이 도입될 때 경제적 타당성을 판단하기 위하여 일반적으로 비용효과분석을 시행한다. 이 문제와 관련하여 교통기관의 추진에 필요한 비출력의 비교 비용효과연구를 이론화한 최초의 연구자는 카만과 가브리엘리(1950) ^{xxviii} 이다. 카만-가브리엘리의 분석 방법은 교통 매개체의 효율을 분석하는 고전적인 방법이다. 카만과 가브리엘리에 의하면 비저항은 다음과 같이 표현된다.

$$\varepsilon = \frac{P}{W \cdot V} \quad (3.1)$$

P = 출력(ib-ft/s), W = 중량(ib), V = 속도(ft/s)

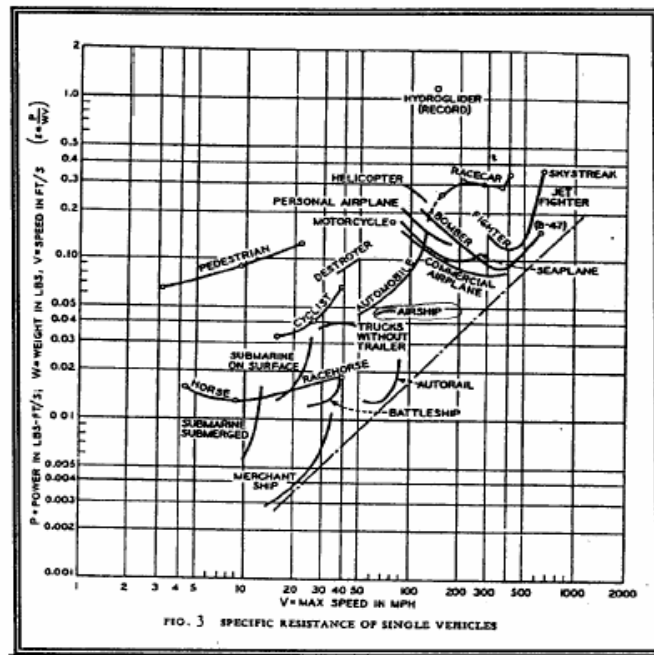


Fig.3.1 - Specific Resistance of Single Vehicles(Source: Gabrielli and Karman (1950))^{xxix}

카만 가브리엘리의 전형적인 다이어그램인 Fig.3.1 은 다양한 교통기관의 비저항을 보여주고 있다. 이 다이어그램에서 보이는 중앙선은 최소동력에서 유상하중을 적재하고 정해진 속도에 도달할 수 있는 최신 기술의 한계선을 의미한다. 교통기관의 비저항이 중앙선에 근접할수록 이 교통기관의 효율이 높다는 것을 뜻한다. 예를 들어, 헬리콥터의 비저항은 상용 비행기보다 높은데 이는 헬리콥터의 효율이 상용 비행기의 효율보다 낮다는 것을 의미한다. 따라서 WIG 선의 비저항이 상선과 상용 비행기의 중간에 위치하고 있다는 사실은 WIG 선이 선박과 비행기의 효율의 간격을 메울 수 있는 잠재력을 갖고 있다는 것을 의미한다.

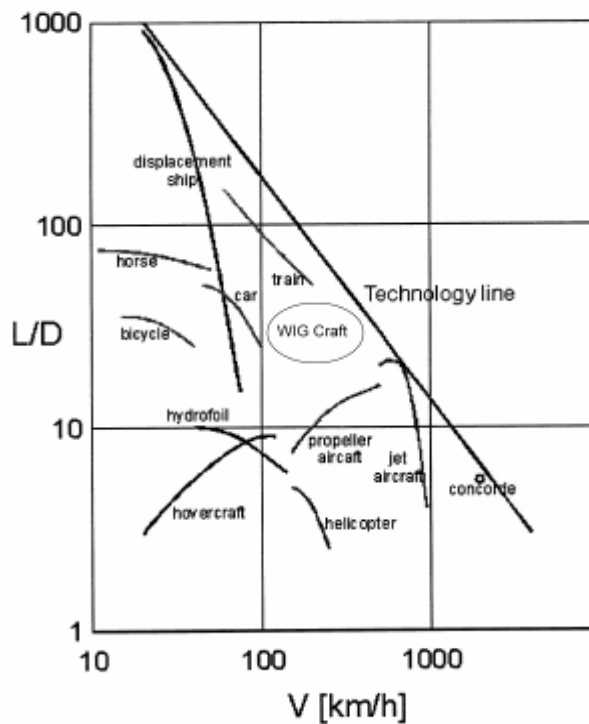


Fig.3.2 - Lift-to-Drag Ratio for Different Locomotion(Source: Halloran and O'Meara (1999))

카만 가브리엘리 다이어그램은 여러 가지 방법으로 재해석이 가능하다.

할로란과 오미아라(1999)^{xxx}의 Fig.3.2는 카만가브리엘리 다이어그램을 교통기관의 양항비와 역비저항으로 재해석한 것이다. Fig.3.3은 다양한 교통기관의 필요한 동력을 보여준다. 이러한 그래프들은 다른 교통기관과 비교하여 WIG선의 높은 효율을 보여주고 있다.

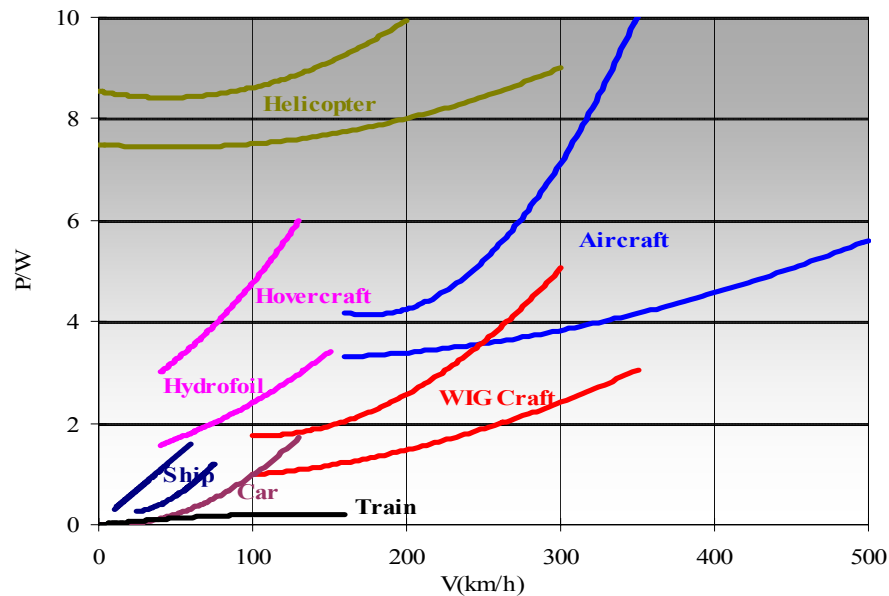


Figure 3.3 - Required Power for Different Transport Vehicles(Source: Greene (1997))^{xxxi}

3.1.2 수송생산성

3.1.2.1 유상 하중비

유상 하중비는 WIG 선의 경제적 효율을 이해하기 위한 중요한 수단이다. 유상 하중비는 수송매체의 전체중량에 대한 유효한 탑재량 즉, 여객, 수하물, 화물 등의 중량 합계의 비를 의미한다. Fig.3.4와 같이 선박의 유상하중은 WIG 선과 항공기 보다 높다. WIG 선의 유상 하중비는 항공기와 필적할 만한 수준을 보인다.

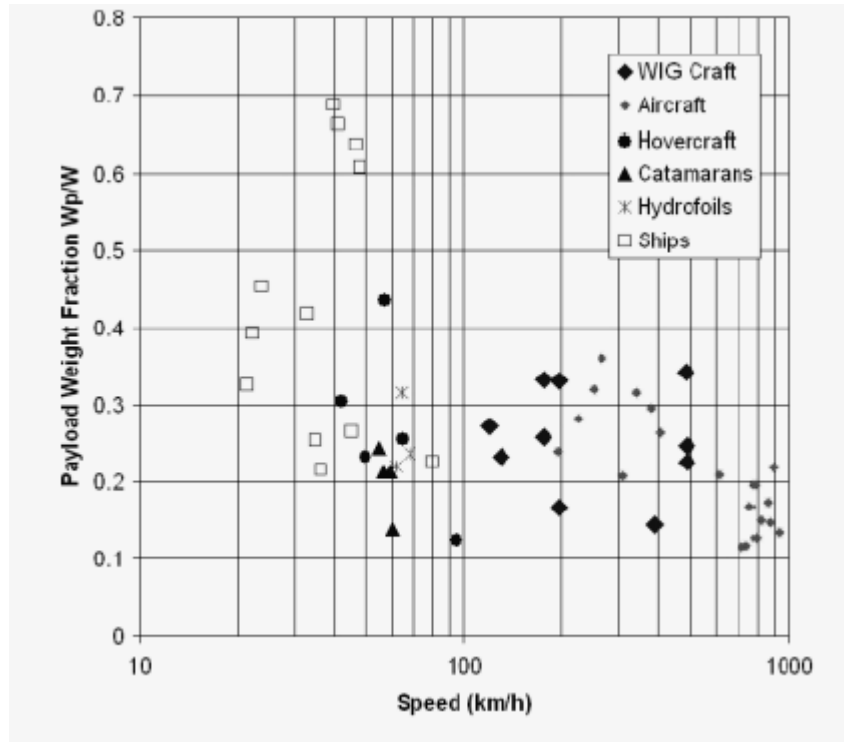


Fig.3.4 - Payload Ratio versus Speed(Source: Halloran, M. & O'Meara, S. (1999))^{xxxii}

3.1.2.2 고속선의 수송생산성

유상 하중비와 관련하여 전통적인 선박의 유상 하중비는 높지만 속력은 느리고, 반면에 항공기의 유상하중비는 낮지만 속력은 매우 빠른 것을 알 수 있다. 사실, 유상하중은 차지하고 수송매체의 속력은 중요한 경제적 매개 변수이다. 이러한 관점에서 유상하중과 속력 모두를 고려한 수송생산성의 개념이 경제적 효율을 평가하는데 매우 유효하다. Fig.3.5 는 여러 가지 수송매체의 수송 생산성을 보여주는데 WIG 선의 수송 생산성이 다른 모든 비교되는 고속선의 수송생산성보다 훨씬 높음을 보여주고 있다. WIG 선은 분명히 광범위한 종류의 모든 다른 선박보다 수송생산성 면에서 장점을 갖고 있으며 이것은 WIG 선이 새로운 혁신적인 교통수단으로 적합하다는 것을 증명하고 있다.

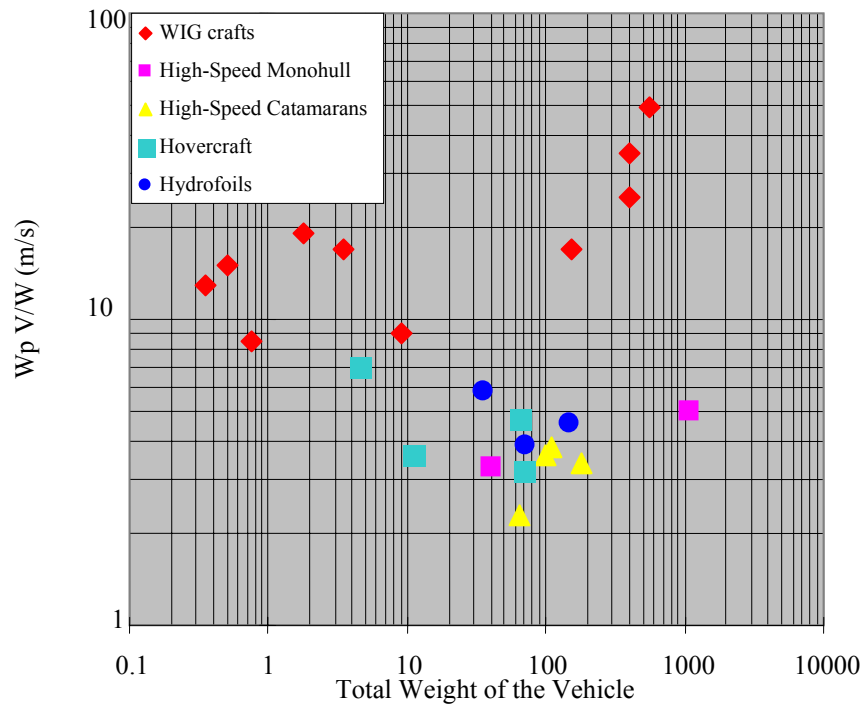


Fig. 3.5 - Transport Productivity of High-Speed Marine Vehicles

(Source: Rozhdestvensky (1995))^{xxxiii}

3.1.2.3 연료소모율 vs. 총중량

연료 소모율은 교통수단에 또 다른 중요한 지표이다. 표 3.1 은 실제적인 항공기와 WIG 선의 연료효율을 보여주고 있다. 러시아의 WIG 선인 MPE-200 의 Q_{pass} 와 Q_t load 는 비교적 높지만 WIG 선의 Q_t weight 는 현대의 민간항공기와 경쟁할 만한 수준을 보여주고 있다. 이 표로부터 WIG 선의 중량 효율은, 이수시 필요한 출력을 얻기 위한 대형 기관의 장착과 안전운항을 위한 설비 탑재 등의 이유로 현재의 항공기보다 높지 않다는 것을 알 수 있다.

Table 3.1 - Comparison of Fuel Efficiency(Source: Sinitsyn, D., and Maskalik, A. (1996))^{xxxiv}

Q_{pass} = gram of fuel / 1 passenger 1 km (fuel consumption in order 1 passenger x 1 km)

$Q_t \text{ load}$ = gram of fuel / 1t of load 1 km (fuel consumption in order 1t of load x 1 km)

$Q_t \text{ weight}$ =liters of fuel / 1t of weight 100 km (fuel consumption in order 1t of total weight x 100 km)

Type of a Vehicle	Q_{pass}	$Q_t \text{ load}$	$Q_t \text{ weight}$
Boeing 707-320C	31.3	334	8.54
Aerobus A 310-300	33.9	339	4.98
Aerobus A 300 B4	34.0	329	8.54
WIG craft(MPE-200)	47.0	466	7.71

그 밖에, Fig.3.6 은 WIG 선의 연료 소비율을 나타내며 전반적으로 다른 수송매체와 비교할 때 WIG 선의 연료 소비율은 경쟁력을 갖고 있음을 알 수있다. 그러나, WIG 선의 연료 소비율은 만족할 만한 수준에 도달하지는 못하고 있다. 그 이유는 비교 대상인 러시아 WIG 선은 군용으로 개발되었기 때문에 연료 소비율을 충분히 고려하지 않았기 때문이다. 또한 WIG 선의 연료소비효율은 앞으로 더 개선되어야 할 필요성을 보여 주고 있다.

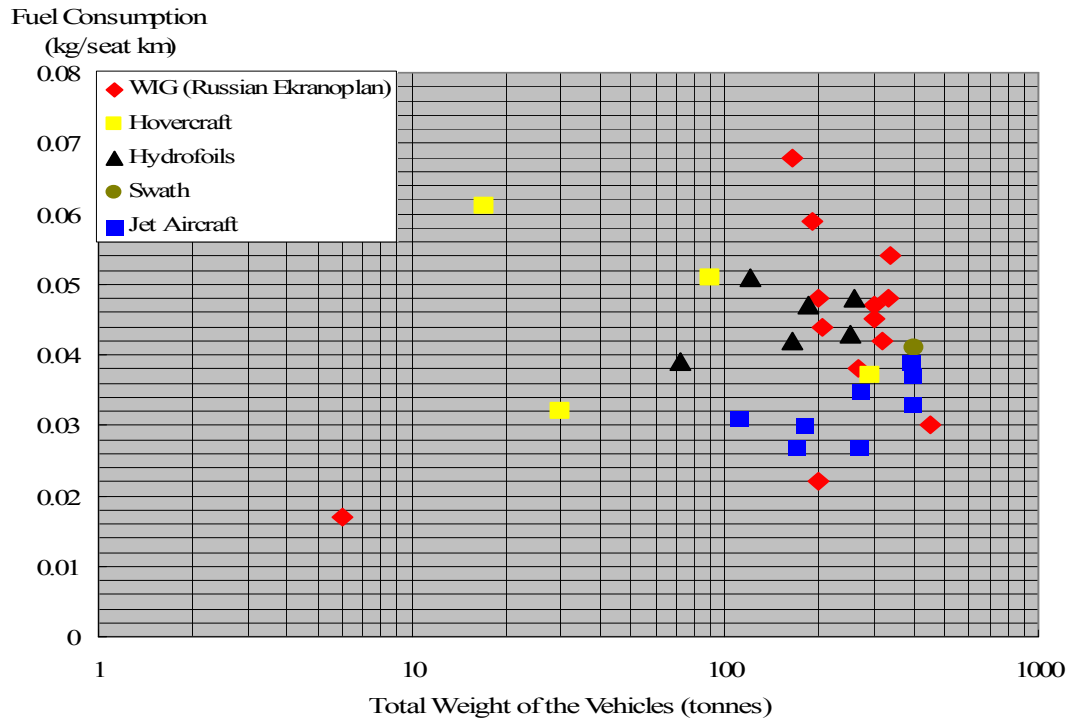


Figure 3.6 - Fuel Consumption of High-Speed Marine Vehicles vs. Total Weight^{xxxv}

3.1.3 수송유효성(Transport Effectiveness)

WIG 선의 유상하중과 여객수송능력을 다른 수송매체와 비교하여 평가하기 위하여 수송유효성이라는 개념이 사용된다. 수송유효성은 다음과 같이 표현된다.

$$TE = \frac{W_p \cdot V}{N} = K_\eta \cdot \frac{W_p}{W_0} \quad (3.2)$$

W_0 – 총중량 (displacement)

W_p – 요구되는 유상하중

V – 순항속도

N – 전체기관의 총출력

K_η - 추진효율계수

$$K_\eta = \frac{W_0 \cdot V}{N} \quad (3.3)$$

이식을 보다 명확하게 표현하면 유용하중(Useful Payload: 기체의 최대허용중량과 자체중량 사이의 차)을 기반으로 하여 다음과 같이 표현된다.

$$TE_{ful} = \frac{W_{us} \cdot V}{N} = K_\eta \cdot \frac{W_{us}}{W_0} \quad (3.4)$$

W_{us} - 유용하중

더하여, WIG 선은 이수를 위한 추가의 동력이 요구된다. 이 추가 동력은 WIG 선이 순항시에 완전히 모두 사용되지는 않는다. 이러한 관점에서 추진동력에 대한 수송유효성은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$TE_{ex} = \frac{W_p \cdot V}{N_{ex}} = K_{\eta,ex} \cdot \frac{W_p}{W_0} \quad (3.5)$$

N_{ex} - 속도 V에서 사용되는 추진출력

$K_{\eta,ex}$ - 추진효율계수

다음으로 유용하중과 추진출력에 기반하여 수송유효성은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$TE_{ful,ex} = \frac{W_{us} \cdot V}{N_{ex}} = K_{\eta,ex} \cdot \frac{W_{us}}{W_0} \quad (3.6)$$

또한, 여객당 거리를 기초로 하여 연료소비량을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$QKR = \frac{C_e \cdot N_{ex}}{V \cdot n_{pass}} \quad (3.7)$$

C_e – 비교연료소비량 (kg/ (kw x hour))

n_{pass} – 여객의 수

상기의 식으로부터 각각의 값을 계산하면 다음과 같다. ^{xxxvi}

Table 3.2 - Transport Effectiveness

Transport Type	TE	TE_{ful}	TE_{ex}	$TE_{ful.ex}$	QKR
Semi-displacement ships	1.6-2.6	2.0-2.9	1.8-2.9	2.2-3.2	0.022-0.036
Catamarans	1.0-1.8	1.2-2.2	1.1-2.0	1.3-2.4	0.033-0.060
SES	1.6-3.2	2.0-4.0	1.8-3.5	2.2-4.4	0.023-0.045
ACS	0.6-1.5	0.7-2.0	0.7-1.7	0.8-2.2	0.050-0.100
Hydrofoils	1.0-1.5	1.2-1.7	1.1-1.7	1.3-2.9	0.040-0.065
WIG Crafts	1.5-2.9	2.0-4.0	1.9-3.9	2.9-5.8	0.022-0.049
Aircrafts	1.0-2.0	1.5-4.0	2.0-4.0	3.0-8.0	0.020-0.040

표 3.2 에 의하면 WIG 선의 수송유효성은 해상의 선박 보다 높고 항공기와 거의 동일한 수준을 보이고 있다.

3.1.4 수송계수(Transport Factor)

WIG선의 경제효율을 평가하기 위한 또 다른 유용한 도구는 커넬에 의해 도입된 소위 “수송계수”라는 개념이다. ^{xxxvii} 커넬에 의하면 수송계수는 다음과 같이 표현된다.

$$TF = \frac{K_2 \cdot W}{SHP_{TI} / (K_1 \cdot V_K)} \quad (3.8)$$

W – 선박(또는 항공기)의 용적, SHP_{TI} – 설치된 총 출력, V_K – 설계속력(knot),
 K_1 – 상수 (1.6878/550 HP/lb-kn), K_2 – 상수 (2240 lb/LT)

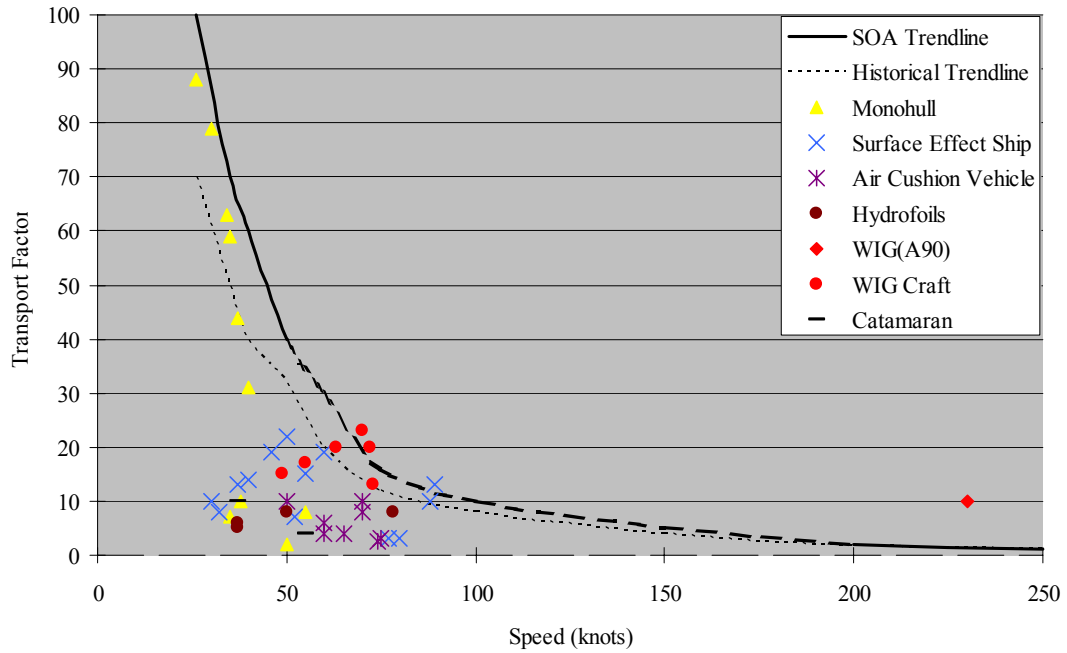


Fig. 3.7 - Vehicle Transport Factor (Source: Kennell (1998))^{xxxviii}

커넬에 의하면 수송계수는 다음과 같이 세 가지로 분해될 수 있다.

$$W = W_{ship} + W_{cargo} + W_{fuel} \quad (3.9)$$

W_{ship} – 공선시의 용적

W_{cargo} – 화물의 용적

W_{fuel} – 연료의 용적

$$TF = TF_{ship} + TF_{cargo} + TF_{fuel} \quad (3.10)$$

TF_{ship} , TF_{cargo} , TF_{fuel} – 각 용적으로부터 계산된 수송계수

Fig.3.8 은 커넬에 의한 수송연료효율과 관련한 각 매체의 수송계수를 보여준다.

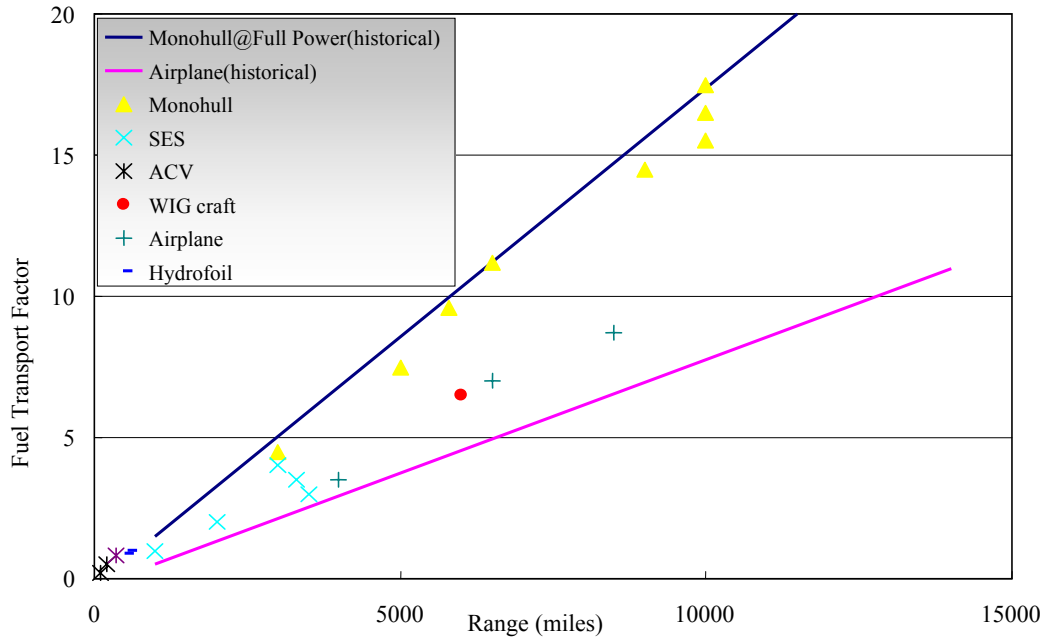


Figure 3.8 - Fuel Transport Factor (Source: Kennell (1998))^{xxxix}

상기의 Fig.3.7 과 3.8 은 WIG 선의 수송계수가 해상의 다른 수송매체보다 큰 경쟁력을 갖고 있으며 항공기와 거의 근접한 효율을 보여주고 있다. 여기에서 주목할 것은 수송계수는 크기와 속도에 매우 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 따라서 WIG 선의 크기와 속도는 수송계수를 향상시키기 위한 핵심 요소이다.

3.2 모델항로 원가분석

3.2.1 개요

지금까지 WIG 선의 일반적인 경제효율을 분석하였다. WIG 선이 상업적으로 성공하기 위해서는 경쟁이 예상되는 수송매체 즉, 전통적인 선박 그리고 항공기와 의 원가가 비교 분석되어야 한다. 후커는 WIG 선을 오늘날의 컨테이너 선박과 경쟁할 수 있는 초대형 WIG 선의 개발 필요성과 장점을 강조하였다. WIG 선이

대형이 될수록 효율이 높아지는 것은 분명한 사실이지만 WIG 선의 상용화는 소형 WIG 선의 운용과 개발을 통하여 보다 쉽게 이루어질 수 있기 때문에 현재의 시장상황 하에서 이러한 초대형 WIG 선의 대한 논의와 원가분석은 시기상조라고 판단되어, 본 장에서는 비교적 소형의 여객 WIG 선의 운용원가를 다른 교통수단과 비교하여 WIG 선의 경제적 타당성을 검토해 보고자 한다.

3.2.2 분석방법

3.2.2.1 가정

3.1 장에서 WIG 선은 대체적으로 여러 가지 측면에서 선박과 항공기 중간에 놓여 있는 것으로 파악 되었다. 따라서, WIG 선의 직접운용원가 또한 항공기와 선박의 중간에 해당될 것으로 예상한다. WIG 선의 원가가 항공기 보다 높다면 WIG 선의 상용화는 현재 상황하에서 이뤄지기 어려울 것이다. 이러한 이유로 WIG 선의 상용화를 위하여는 WIG 선의 운용원가가 항공기와 선박 사이에 위치하여야 한다.

사실, WIG 선의 선가와 관련하여 신뢰할 만한 자료가 거의 없기 때문에 WIG 선의 선가를 예측하기란 매우 까다로운 문제이다. 이러한 이유로, 통계적으로 항공기의 가격을 예상하는 Rozhdestvensky 와 Kubo 의 식으로부터 WIG 선의 선가를 예측하고, 예측된 선가와 함께 계산된 직접운용원가로부터 항공기의 운용원가와 비교하여 경쟁력을 가질 수 있는 WIG 선의 선가를 재추정하고자 한다.

3.2.2.2 분석틀

Amyot 등²¹⁾에 의하면 총 운용원가(Total Direct Operating Cost)는 선가, 운영비, 연료비, 승무원 비용 같은 선박 또는 항공기를 직접적으로 운용하는데 필요한

직접운용원가(Direct Operating Cost)와 관리비, 간접 인건비 같은 이차적인 간접운용원가로 구성된다. 따라서 총 운용원가는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$TOC = DOC + IOC, \quad (3.11)$$

또는

$$TOC = DOC (1+K_i), \quad (3.12)$$

K_i - 직접원가비에 대한 간접비 계수, 다음의 범위로 추정한다.

$$1.5 \leq K_i \leq 2. \text{ }^{xli}$$

따라서 WIG선의 직접운용원가를 추정하여 항공기와 선박의 직접운용원가와 비교하는 것은 WIG선의 경제적 합리성 분석을 통하여 상용화 타당성을 검토하기 위한 적절한 방법이다. 직접운용원가 분석의 주요 요소와 절차는 다음과 같이 도해적으로 설명될 수 있다. xlii

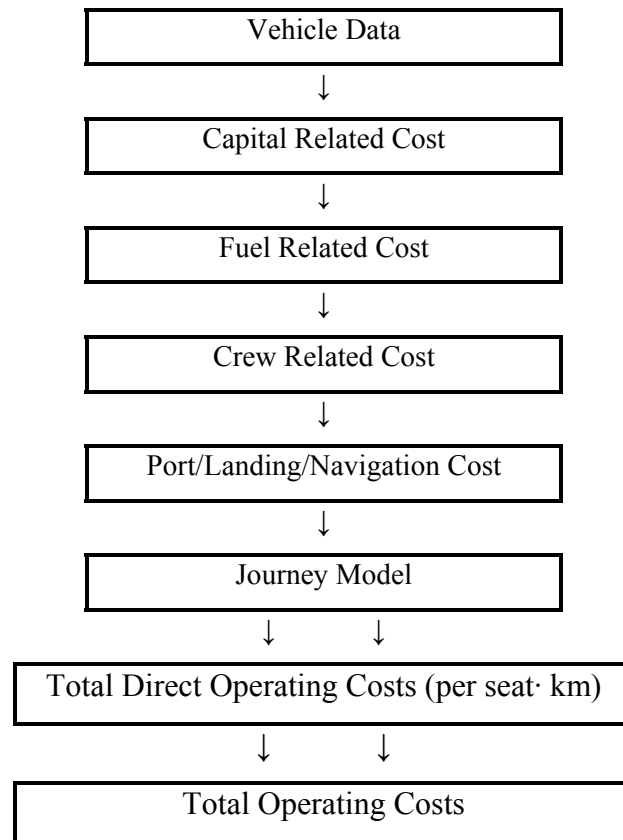


Figure 3.9 - Main components of Operating Costs

실제적으로, 모든 원가는 가변적이며 외부경제와 시장상황의 가격탄력성에 의해 좌우된다.^{xliii} 따라서 이러한 가변적인 원가요소에 의해 직접운용원가는 변동적임을 밝혀두며 본 WIG선 원가분석의 목적은 WIG선의 운용원가와 다른 선박 또는 항공기의 운용원가를 비교하여 WIG선의 상용화 가능성을 검토하는 것에 있음을 밝히는 바이다.

3.2.3 총 직접운용원가의 추정

다양한 원가분석 방법이 운용원가를 계산하기 위해 사용되지만 Akagi(1993)^{xliv}의 식은 직접운용원가(per seat km)를 산출하는데 유용한 도구이다.

$$DOC = \left[\left\{ \frac{1-r_v}{A} + r_{ins} + r_{int} \right\} + r_m \right] \cdot \left(\frac{K_s}{N_p \cdot V_s} \right) \cdot \frac{1}{T_a} + \left(\frac{C_{fu} \cdot M_f}{R \cdot N_p} \right) + \left(\frac{S_c \cdot N_c}{N_p \cdot V_s} \right) \cdot \frac{1}{T_a} \quad (3.13)$$

r_v – 잔존가치율

A – 감가상각연수

r_{ins} – 연간보험율

r_{int} – 연간이자율

r_m – 연간관리율

K_s – 선가

N_p – 여객의 수

V_s – 속도 (km/h)

T_a – 연간사용시간 (in hours)

C_{fu} – 연료비(kg당, 윤활유 포함)

M_f – 연료의 질량

R – 운항범위 (km)

S_c – 인원당 평균연간인건비

N_c – 승무원 수

기본적으로, 상기의 원가계수는 다음과 같이 정한다. 모든 모델선(또는 항공기)의 잔존가치율은 0.1, 연간이자율은 0.05 그리고 운영원가율은 0.03 으로 한다. 또한 감가상각연수는 14 년으로 정하고 연간보험율은 0.01 로 정한다.

연료비는 kg당 0.4(USD)로 하고 WIG선의 평균연간승무원 인건비는 항공기와 고속선 승무원 인건비의 평균으로 한다. 연간사용시간은 다음의 Akagi의 공식을 사용하여 산출한다.^{xlv}

$$T_a = n_a \cdot \left(\frac{t_d}{t_r + L_R / V_s} \right) \cdot \left(\frac{L_R}{V_s} \right) \quad (3.14)$$

n_a – 연간운항일수

t_d – 일당사용시간

t_r – 터미널에서의 시간

L_R – 항로거리

연간운항일수는 320 일로 하고 일당 운항시간은 12 시간으로 한다. 터미널 소요시간은 항공기 0.5 시간, 고속선 0.67 시간, WIG선 1, 2 는 0.25 시간, WIG 선 3 은 0.42 시간으로 한다. 앞서 언급한 바와 같이 DOC중에서 가장 영향력이 큰 매개변수는 선가이다. WIG선에 대한 신뢰할 만한 정보의 부족으로 WIG선 선가를 예측하는 것은 매우 어려운 일이므로 항공기 통계로부터 착상된 보잉의 다음식을 이용한다.^{xlvi}

$$K_s = 3.7 \cdot 10^5 \cdot 0.8730 \cdot N_p \cdot P(N) \text{ (USD)} \quad (3.15)$$

$P(N)$ – 기체제작대수에 대한 계수, 기체생산대수가 충분하게 클 경우 $P(N)$ 은 1 이 계산에서는 $P(N)$ 을 1 로 한다.

3.2.4 시나리오

3.2.4.1 항로

앞의 장에서 검토한 바와 같이, WIG 선은 기술적, 경제적인 면에서 항공기와 선박 중간에 위치한다. WIG 선의 이러한 특성과 WIG 선에 대한 현재의 시장환경을 고려하면 모델의 항로를 장거리로 설정하기는 어려운 측면이 있다.

사실 1 장과 2 장에서 언급한 바와 같이 장거리 WIG 선 운항은 현재 기술적으로 완전히 증명되지 않았으므로, 이 모델에서는 항로거리를 200km 로 설정한다.

3.2.4.2 비교모델선

본 분석을 위해 다음의 모델선과 항공기를 사용한다.

WIG 1 - 34 인용, Saab 340 항공기의 1/3rd 동력과 사양

WIG 2 - 50 인용, Raketa-2 사양

WIG 3 - 150 인용, A.90 ekranoplan 사양

Saab 340 aircraft - 34 인용

Saab 2000 aircraft - 50 인용

74m NGA fast passenger ferry - 450 인용

38m Austal catamaran ferry - 430 인용

3.2.4.3 결과 분석

WIG 선의 감항성은 아직 불확실하여 WIG 선은 운용적인 타 비교대상선박 또는 항공기 보다 제한이 많을 것으로 예상 된다. 여기에 더하여, 공칭상의 속력은 유효한 속력과 차이가 있으며, 특히 단거리일 경우 그 차이는 더 할 것이다. 이러한 요소들은 직접운용원가의 값을 부정확하게 만들고 직접운용원가의 구조를 왜곡시킨다. 그러나 또한 원가요소들의 부정확한 수정은 이러한 원가분석을 신뢰할 수 없게 만들 것이다. 따라서 가능한 왜곡을 피하기 위하여 두 가지의 경우, 즉 공칭상의 원가요소를 사용 그리고 실제적인 환경을 고려한 수정한 원가요소 사용 등의 경우를 모두 검토하기로 한다.

Case 1 : 직접운용원가계산 (원가요소의 수정 없음)

모델 선박 또는 비행기의 직접운용원가를 계산하면 다음과 같다. 총 DOC의 각 원가요소가 총 원가에 미치는 영향을 알아보기 위해 DOC를 세가지 요소, 즉, 자본관련DOC(DOC 1), 연료관련 DOC(DOC 2), 그리고 선원관련 DOC(DOC 3)로 분류한다.

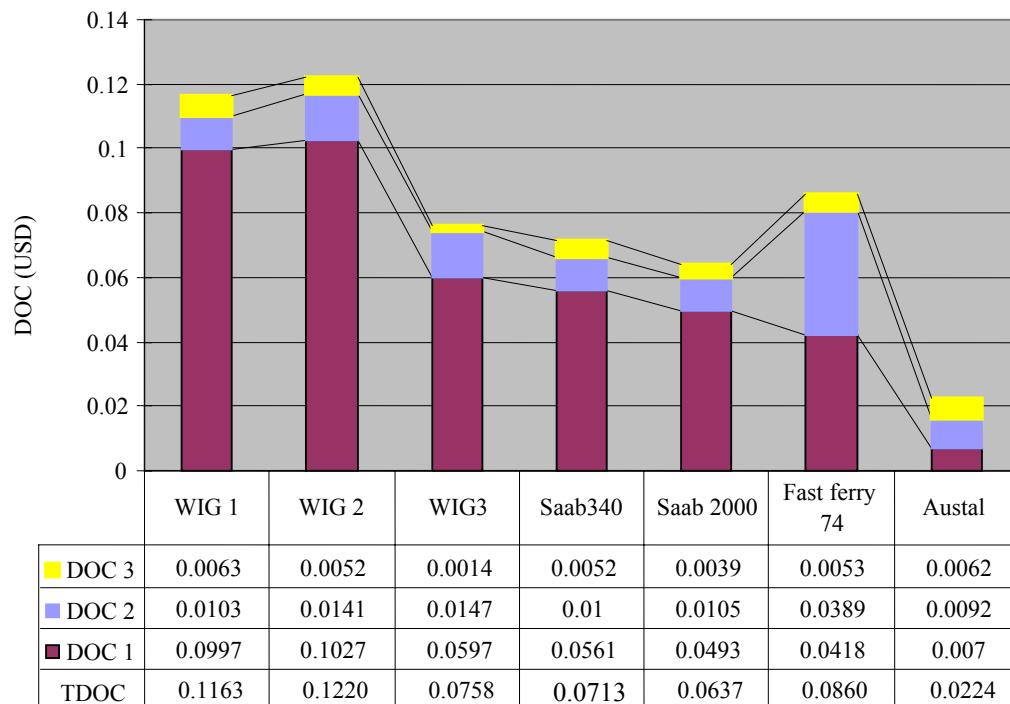


Fig.3.10 - Direct Operating Costs of the Model Vehicles in Case 1

Fig.3.10 은 각 모델선의 계산된 직접운용비를 나타내며, WIG 선의 직접운용비는 WIG 선의 자본관련 DOC(DOC 1)가 지나치게 많은 부분을 차지하여 비교적 높게 나타나고 있다. 각 모델선의 총 DOC 중 DOC 1의 비율은 다음과 같다.

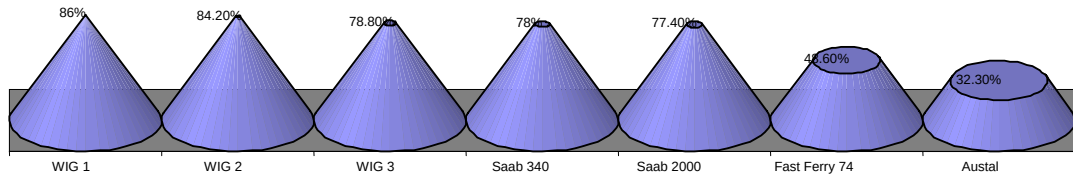


Fig.3.11 - The Proportion of DOC 1 of Model Vehicles

Fig.3.11 은 WIG 선의 자본관련원가가 다른 비교대상 선박 또는 항공기보다 높음을 보여주고 있다. 따라서, Akagi 의 식을 이용하여 산출한 WIG 선의 선가는 항공기와 비교하였을 때 경쟁력이 매우 떨어짐을 알 수 있다. WIG 선의 상용화 성공을 위해서는 WIG 선의 선가와 원가가 경쟁력을 갖고 있어야 만 한다. 상기의 모델 항공기의 DOC 를 기초로 WIG 선이 경쟁력을 가질 수 있는 최대허용선가는 다음과 같이 추론할 수 있다.

Table 3.3 - Maximum Competitive Price of WIG craft in Case 1 (Unit : USD)

	WIG 1	WIG 2	WIG 3
Initial Price	10,659,330	16,150,500	48,481,500
Maximum Competitive Price	5,846,980 (at DOC of Saab340)	6,979,404 (at DOC of Saab2000)	41,712,949 (at DOC of av.aircraft)

WIG 선의 원가 경쟁력을 유지할 수 있는 상기의 최대허용선가는 식 4.15 에 의해 계산된 직접운용원가의 54.9%, 43.2% 그리고 86%를 차지한다. WIG 선의 경쟁력을 유지하기 위하여 WIG 선가는 상기의 최대허용가격을 초과하여서는 아니 된다.

Case 2 : 직접운용원가 계산(원가요소의 수정)

항공기와 고속선의 사용연수를 14 년으로 산정하였지만 WIG선은 운항 환경이 열악하여 WIG선 수명에 악영향을 미치고 WIG선의 내구성에 대한 기록이 부족하므로 WIG선의 사용연수를 10 년으로 설정한다. 동일한 이유로 WIG선의 연간보험율을 0.015 로 정한다. 또한 다른 모델선보다 WIG선의 운항제한요소가 많을 것으로 예상한다. 예를 들어 WIG선은 파고에 따라 이착수에 큰 영향을 받으며 또한 야간 운항의 가능여부도 불투명하다. 이러한 운항제한요소를 고려하여 WIG선의 일당운항시간을 8 시간으로 정한다. 운항에 걸리는 시간은 공칭속도에 좌우되나 실제로 공칭 속도에 도달하기 위하여는 이륙, 착륙, 택싱, 가속 또는 감속 등 시간이 필요하므로 공칭 속도를 대신하여 유효속도를 사용하는 것이 DOC 분석의 왜곡을 막을 수 있으므로 유효속도를 사용한다. 이러한 원가요소를 사용하여 계산한 모델선의 직접운용원가는 다음과 같다.

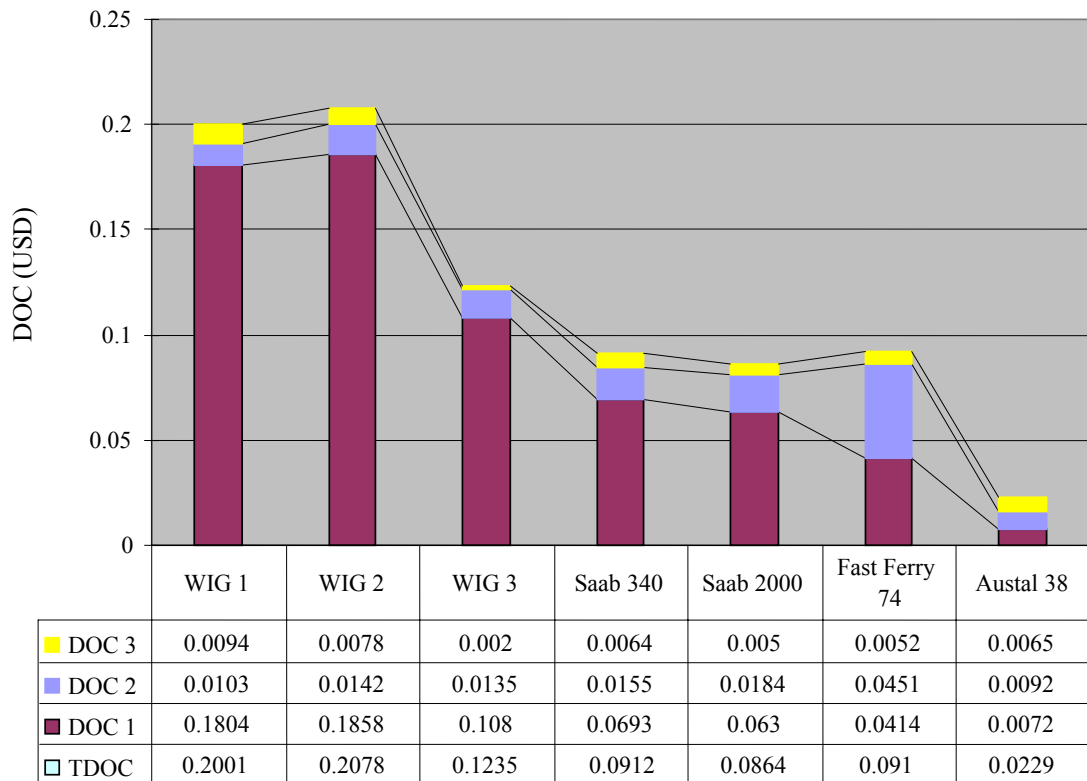


Fig.3.12 - Direct Operating Costs of Model Vehicles in Case 2

Fig.3.12 와 같이 WIG 선의 직접운용원가는 다른 비교대상 선박 또는 항공기보다 여전히 높음을 알 수 있다. 이것은 Case 1 에서와 같이 WIG 선의 선가를 포함하는 자본관련원가(DOC 1)가 총 DOC 에 큰 영향을 미치기 때문이다. 대부분의 경우 자본관련원가는 총 운용원가에 대부분을 차지하고 있지만 WIG 선의 경우, 특히 비교적 소형인 WIG 1, WIG 2, 그 정도가 지나쳐 상기와 같이 높은 DOC 로는 WIG 선 상용화 가능성은 희박할 것이다.

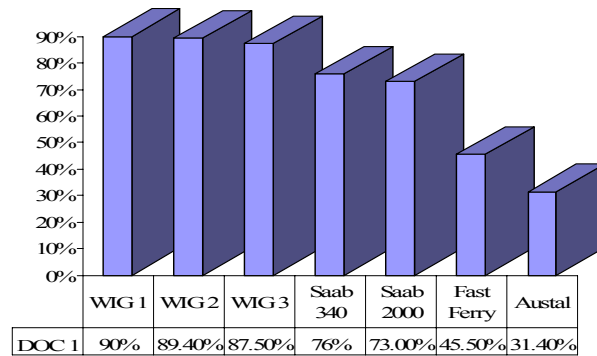


Fig.3.13 - The Percentage of DOC 1 in the Total DOC of Model Craft

Fig.3.13 은 모델선의 자본관련 DOC 를 보다 자세하게 보여주고 있다. 그림에서 WIG 선 1, 2 는 DOC 1 이 전체 DOC 의 거의 90%를 차지하고 있는 반면 항공기는 75% 그리고 고속선은 38%를 차지하고 있다.

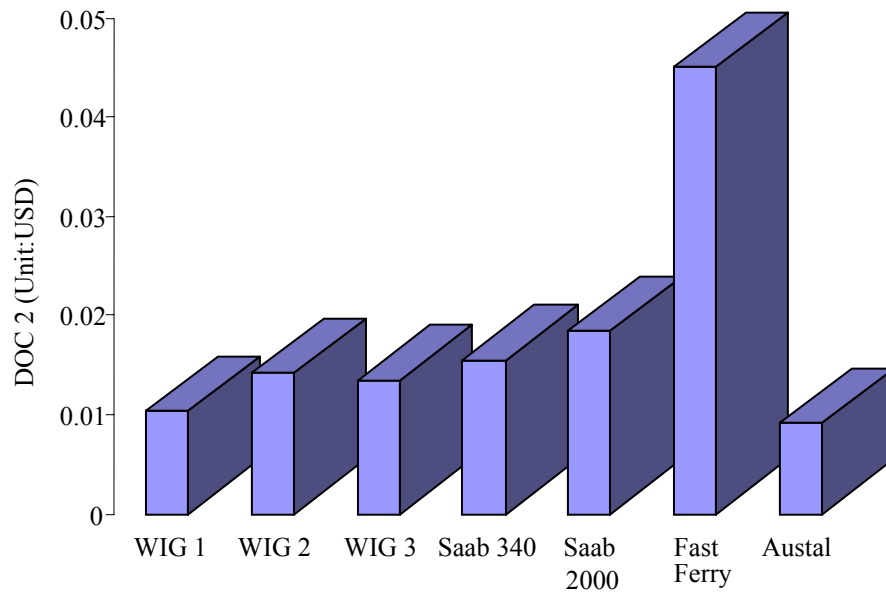


Fig. 3.14 - The Fuel Related Costs (DOC 2) of Model Craft

Fig.3.14 는 각 모델선의 연료관련원가(DOC 2)를 나타내고 있다. 위 그림으로부터 WIG 선의 연료관련원가가 항공기의 연료관련원가와 비교하여 현저히 낮지 않고 총 직접운용원가에 매우 미미한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 일반적인 예상과는 다른 이 결과의 이유는 운항거리가 비교적 짧고 또한 현재의 WIG 선 특히 동 분석에 사용된 모델, Raketa-2 와 A.90 은 비행에 지면효과를 충분히 이용하지 못하고 있다.

상기 모델 항공기의 DOC 를 근거로 하여 원가경쟁력을 가질 수 있는 WIG 선의 선가를 다음가 같이 추정할 수 있다. 항공기 DOC 로부터 산출한 WIG 선 1, 2, 그리고 3 의 최대허용선가는 식 4.15 에 의해 계산된 초기 가격의 각각 39.6%, 34.7% 그리고 67.9%에 해당된다.

Table 3.4 - Maximum Competitive price of WIG craft in Case 2

(Unit: USD)

	WIG 1	WIG 2	WIG 3
Initial Price	10,659,330	16,150,500	48,481,500
Maximum Competitive Price	4,225,236 (at DOC of Saab340)	5,596,569 (at DOC of Saab2000)	32,902,270 (at DOC of av.aircraft)

Fig.3.15 를 보면, WIG 선의 DOC 1 이 상당히 감소하였음을 알 수 있다. 앞서 계산한 WIG 선의 DOC 1 은 전체 DOC 의 90.1%, 89.4% 그리고 87.5%에 해당되었으나 WIG 선 선가를 재 추정하여 적용한 이 계산에서는 각각 78.4%, 74.5% 그리고 82.5%를 나타내고 있다.

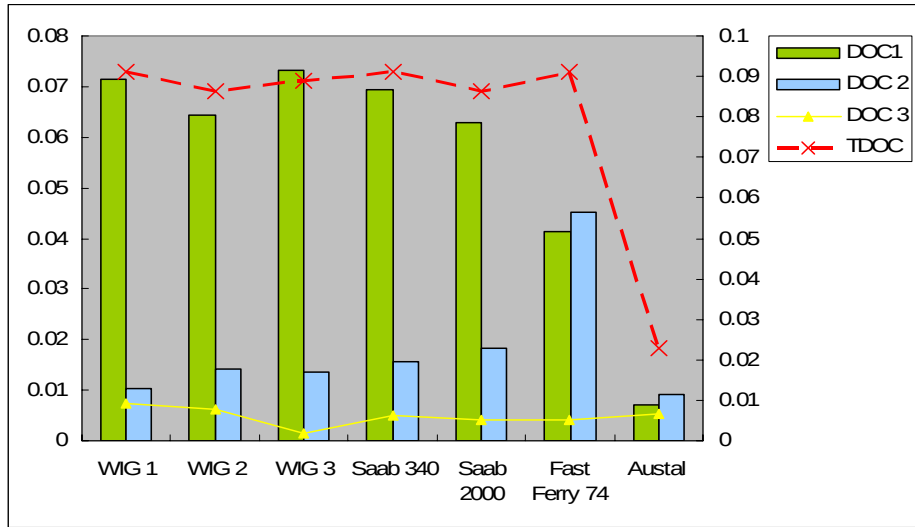


Fig.3.15 - Comparison of DOC at Maximum Competitive Price of WIG craft

경쟁력 있는 WIG 선의 최대선가와 관련하여 또 다른 중요한 점은 다음 Fig. 3.16 과 같이 WIG 선의 선가와 속도는 상호 매우 밀접한 관련이 있다는 점이다. Fig.3.16 은 WIG 선의 속도가 빨라질수록 WIG 선에 허용되는 최대선가는 보다 높아진다. 특히 여객의 수가 많은 WIG 선 3 형식의 선박이 이와 관련하여 더 큰 상관 관계를 갖고 있다. 마지막으로, 경쟁시장에서 비교적 소형인 WIG 1, 2 같은 종류의 WIG 선 상용화에 성공하기 위해서는 WIG 선의 가격은 동등한 항공기의 선가 보다 약 1/3 정도 낮아야 한다. 비교적 대형인 WIG 3 형의 WIG 선의 선가는 동등한 항공기 선가의 67.9%내에만 해당되면 운항 경쟁력을 갖고 있다. 또한, WIG 선의 DOC 1 은 총 DOC 의 80%를 초과하면 WIG 선의 비교 경쟁력을 확보하기는 어려울 것이다.

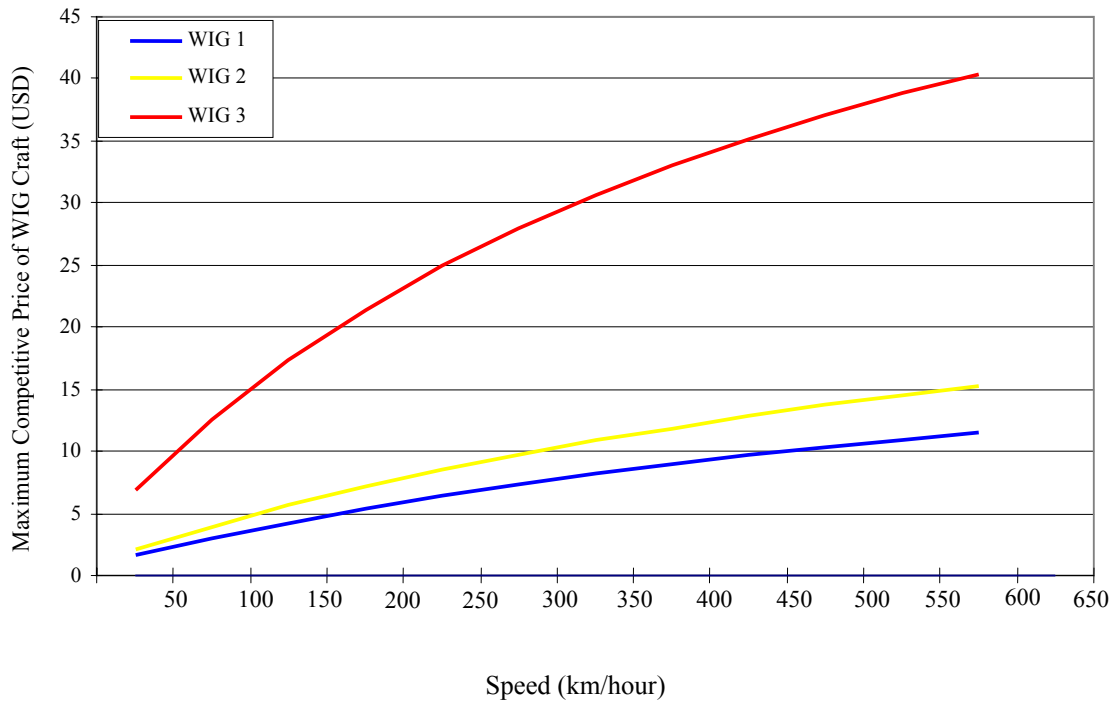


Fig.3.16 - The Co-relation Between Speed and Maximum Competitive Price of WIG

3.3 결론

WIG 선은 선박과 항공기의 간격을 메울 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 카만 가브리엘리 다이어그램은 WIG 선이 다른 종류의 선박, 또는 항공기와 비교하여 이론적으로 충분한 경제적 타당성을 갖고 있음을 보여준다. 더하여, 유상하중비와 연료효율과 관련한 WIG 선의 수송생산성은 WIG 선이 상용화 될 수 있는 만족한 결과를 보여주고 있다. 또한, WIG 선의 경제적 효율을 평가하는 유효한 도구인 수송유효성의 다양한 값과 수송계수는 다른 수송매체와 비교하여 높은 효율을 보여주고 있다. 이러한 효율성과 관련하여 WIG 선의 크기와 속도는 효율을 제고하는데 중요한 역할을 하고 있다. 따라서 WIG 선은 다른 수송매체와 비교하여 이론적으로 상용화하기 위한 충분한 경제적 타당성을 가지고 있다.

실용적인 관점에서의 WIG 선 상용화에 대한 경제적 타당성을 검토하기 위하여 Akagi 의 식을 사용하여 두 가지 경우를 가정하여 WIG 선의 직접운용원가를 산출하고 항공기와 고속선의 운용원가와 비교하여 검토하였다. 신뢰할 만한 정보의 부족으로 WIG 선 선가 추정이 어려워 항공 통계를 근거로 산출된 식에 의해 WIG 선 선가를 먼저 추정하고, WIG 선의 직접운용원가를 계산하여 모델선들과 비교하였고, 이 후 경쟁력을 가질 수 있는 WIG 선의 최대 선가를 추정하였다. 결론적으로, 직접적인 경쟁이 없는 틈새시장에서는 WIG 선의 선가는 비교적 제한 받지 않으나, 경쟁시장에서는 WIG 선의 선가가 WIG 선의 직접운용원가에 크게 영향을 미치고 있다. 따라서 경쟁시장에서 WIG 선의 상업적 경쟁력을 확보하기 위하여는 WIG 선의 선가가 최대허용선가를 초과하여서는 아니된다. 선가가 항공기와 유사하거나 앞에서 분석한 최대허용선가를 초과할 경우에는 WIG 선의 상업적 경쟁력은 현저히 저하된다.

또한, WIG 선의 최대허용선가는 WIG 선의 속도와 유상하중에 적지 않게 영향을 받는다. 그러므로 WIG 선이 상용화되기 위해서는 이러한 점을 신중하게 고려하여야 한다. 이 모델에서 연료와 관련한 운용원가는 총 운용원가에 큰 영향을 끼치지 못하고 있다. 그러므로, 결론적으로 WIG 선의 선가는 경쟁시장에서 WIG 선이 성공적으로 상용화되기 위하여 가장 중요한 문제라고 할 수 있다.

4. WIG 선에 대한 국제법 검토 및 IMO 의 역할

4.1 개요

1990 년대까지 WIG선의 법적 지위는 불분명하였다. 그 이유는 WIG선은 전통적인 선박과 기본적으로 같지 않았으며, 운항, 구조, 설계, 기술적 특성 등이 항공기와 많은 공통점을 가지고 있어 WIG선이 항공기로 분류 되어야 하는 것인지, 또는 선박으로 분류해야 되는 것인지 매우 모호하였다. 오랜 국제적인 논의를 통하여 1995 년 마침내 IMO와 ICAO는 WIG선을 선박으로 분류하여 관할 국제기구로 IMO가 적합하다고 결론 지었다. WIG선은 여러 측면에서 전통적인 선박과 매우 달라 SOLAS 1974, LL66 같은 전형적인 해사안전협약을 적용하기가 불가능하여, IMO는 WIG선의 국제기준을 제정하여야 할 필요성에 직면하였다. Rozhdestvensky와 Mikhilov는 적합한 국제 기준과 증서 없이 WIG선은 결코 소비자에게 인도될 수 없다^{xlvi}라고 언급했듯이 국제 기준 없이 상업적 용도로 국제 항해를 하고자 하는 선박은 운항이 허용되지 않는다. 따라서, WIG선의 상업화를 지원하기 위하여 적합한 국제 기준을 제정하는 것은 필수적인 사안이다. 게다가, 모든 교통 수단은 검사를 받고 이를 증명하는 증서를 소지하여야만 상업적 운항이 허용된다. 이러한 이유로 새로운 종류의 운송 수단이 도입될 때, 법적인 문제가 발생한다. 이러한 맥락에서 최근까지 WIG선은 국제 기준이 없는 상황에 직면하였다.

IMO 는 WIG 선 국제 기준 제정의 필요성을 인지하여 비록 강제적인 규칙은 아니지만 WIG 선 잠정 가이드라인을 제정하였고 또한 COLREG 1972 를 개정하고 STCW 1978 과 관련한 WIG 선 승무원에 대한 권고를 채택하였다. 이장에서는 WIG 선의 법적 지위와 현행 국제 기준, IMO 의 활동 그리고 문제점에 대해서 논의한다.

4.2 IMO 활동

IMO는 1977 년 동적으로 지지되는 선박을 위한 첫 번째 국제 안전 코드를 채택하였다. 이 코드는 고속선, 주로 휴버크래프트와 하이드로포일에 안전 기준을 제시하고 있다. 이 후 고속선에 대한 기술이 진전됨에 따라 이 코드의 전면적인 개편의 필요성이 제기되었다. 한편, WIG선 논의의 시작은 1992 년 WIG선 개발의 선도적 국가로 알려진 러시아의 제안으로부터 시작되었다.^{xlvi} 러시아는 WIG선의 국제 기준의 제정과 함께 새롭게 논의 되고 있는 국제고속선안전기준에 WIG선 안전 기준을 삽입 할 것을 제안하였다. 1993 년 이 제안은 IMO 해상안전위원회의 DE 소위원회의 의제에 포함되었으며, 해상안전위원회의 결정에 따라 국제해사기구와 국제민간항공기구로 이루어진 통합작업반을 구성하여 논의하기로 하였다. WIG선은 기존의 모든 전통적인 교통 수단과 근본적으로 달라 WIG선이 항공기의 일종인지 선박의 일종인지에 대한 법적인 문제에 봉착하여 국제적인 논쟁을 불러 일으켰다.^{xli} 논란의 한편, 1994 년 IMO는 WIG선을 제외한 모든 종류의 고속선을 포함하는 국제고속선코드를 채택하였다.

2001 년 WIG 선의 운항 특성을 고려한 1972 국제해상충돌예방규칙의 개정안이 IMO 총회에서 채택되었다. 동 개정안과 관련하여 IMO 와 ICAO 는 WIG 선에 대하여 지면 효과를 벗어나 지속적으로 비행할 수 있는 WIG 선은 IMO 와 ICAO, 두 국제 기구 공동의 관할에 두기로 하였으며 지면 효과 비행만 가능하거나 또는 제한적인 점프업을 할 수 있는 WIG 선은 IMO 단독으로 관리하도록 합의하였고, 마침내 2002 년 WIG 선 잠정 가이드라인이 승인되고 회람되었다. 추가적으로 2005 년 WIG 선 지면효과모드와 배수량모드에서 적용되는 WIG 선 승무원을 위한 훈련, 기술, 지식에 대한 권고와 일반적 원리에 대한 권고가 IMO 해사안전위원회에서 승인되고 회람되었다.

4.3 WIG 선에 대한 현행 국제 기준

4.3.1 WIG 선의 법적 지위

WIG선이 선박의 일종으로 결정되었지만 WIG선에 적용되는 법규에 대해서 여전히 논란이 있다. 문제를 명확히 하기 위하여 ICAO 항공규칙¹에 의거 항공기의 정의를 살펴보면 다음과 같다.ⁱⁱ

“항공기-지표면에 대한 공기의 반작용이 아닌 대기 중 공기의 반작용으로부터 지지력을 끌어낼 수 있는 모든 기계”

WIG선은 일반적으로 바다 표면이나 지구의 표면에 대한 공기의 반작용으로 인하여 유도 항력의 감소와 양력의 증가 현상을 가져오는 지면 효과를 이용하여 비행한다. 따라서, ICAO 정의에 의하면 WIG선은 항공기에 해당되지 않는다. 그 반면, IMO의 WIG선 잠정 가이드라인은 WIG선을 다음과 같이 정의하고 있다.ⁱⁱⁱ

“WIG 선은 지면 효과를 이용하기 위한 날개, 동체 또는 부속에서 발생하는 항공 역학적 양력에 의해 대기 중 지지력을 확보할 수 있고, 주 운항 방법이 지속적인 표면 접촉 없이 표면 위를 지면 효과를 이용하여 비행하는 복합적인 선박”

결국, 항공기와 WIG선의 차이는 IMO와 ICAO의 정의에 의해 명확히 구분된다. 그럼에도 불구하고 제 2 장에서 논의하였듯이 지면 효과를 벗어나 비행할 수 있는 WIG선은 WIG선 잠정 가이드라인에 의해 WIG선으로 간주되고 또한 ICAO 항공규칙에 의해 비행기로도 간주된다. 따라서 지면 효과 바깥에서 비행할 수 있는 또는 제한적인 비행성능을 가진 B형 그리고 C형 WIG선에 대하여 이 문제는

복잡하고 까다로운 문제이다. Bogdanov^{liii}와 항공규칙^{liv},에 의하면 항공기의 최소안전고도는 비행조건에 따라 150, 300 또는 600 미터로 정해진다. WIG선의 법적 지위와 관련하여 항공기의 최소안전고도는 WIG선 관할에 대한 판단 기준을 제공한다. IMO와 ICAO는 지면 효과 밖을 지속적으로 비행할 수 있는 WIG선은 두 기관 공통으로 관할하도록 하였고 최고 고도가 ICAO 기준의 항공기 최소안전고도를 초과하지 않는 제한된 비행 성능을 가진 WIG선은 IMO 단독 관할로 두기로 결정하였다.^{lv} WIG선 잠정 가이드라인에 따르면 WIG선의 운항 모드는 다음과 같이 8가지의 운항 모드를 가지고 있다. 표 3.1은 WIG선의 각 운항 모드에서 IMO 또는 ICAO의 관할 영역을 보여 준다.

Table 4.1 - The Fields of Competency of IMO and ICAO

Operational Modes	WIG Craft Types		
	A	B	C
	Competency		
Amphibian Mode	IMO	IMO	IMO/ICAO
Displacement Mode	IMO	IMO	
Transitional Mode	IMO	IMO	
Planing Mode	IMO	IMO	
Take Off / Landing Mode	IMO	IMO	
Ground Effect Mode	IMO	IMO	
Fly-Over Mode (Limited)	-	IMO/ICAO ^{lvi}	ICAO
Aircraft Mode	-	-	

(Note: Type A or Type B of WIG craft including those with limited “fly-over” capability should be covered only by the maritime regulatory regime.^{lvii} Type C of WIG craft and its operations are not applicable to the Interim Guideline for WIG craft.^{lviii})

4.3.2 WIG선 잠정 가이드라인(Interim Guidelines for Wing-In-Ground (WIG) Craft)^{lix}

WIG 선 잠정 가이드라인은 2002 년 IMO 해사안전위원회 제 76 차 회의에서 승인되었다. 이 가이드라인 제정의 목적은 WIG 선의 운항, 구조, 설계와 관련하여 가능한 최대한의 지침을 제시하고자 함이었다. 가이드라인은 3 가지 파트로 구성되어 있으며, A 편은 일반적 정보, B 편은 안전 평가를 통하여 설정되는 조치에 종속되는 규정 그리고 C 편은 안전 평가의 상세 규정으로 이루어져 있다. 동 가이드라인의 상당 부분은 2000 고속선안전기준으로부터 WIG 선에 맞게 개정한 것이다. 잠정 가이드라인은 A 형, B 형 WIG 선에만 적용되며, C 형 WIG 선은 항공기로 정의되어 ICAO 규정을 따르도록 하고 있다. 그러므로 C 형 WIG 선을 제외한 모든 WIG 선은 동 잠정 가이드라인을 준수하도록 권고하고 있다. 잠정 가이드라인에 따르면, C 형 WIG 선을 제외한 모든 WIG 선은 운항 개시 전에 WIG 선 안전 증서와 운항 허가를 받도록 권고하고 있으며, 이 WIG 선 안전 증서는 WIG 선의 구조, 안전 설비, 무선 설비, WIG 선의 재질 등이 검사를 받았으며 관련 안전규정에 적합하다는 것을 증명하는 것이다. 또한 운항 허가는 주관청이 WIG 선의 종류, 운항자의 명세, 운항 구역, 기항, 피항지까지의 최대 거리, 여객과 승무원 수, 한계 상황 그리고 운항 제한 사항에 대하여 확인하고 문서화한 것이다. 그리고 동 가이드라인은 최소안전기준을 준수하고 안전경영을 실현하기 위하여 WIG 선에 ISM 코드의 적용을 권고하고 있다.

동 가이드라인이 가지는 가장 중요한 의미는 WIG 선에 대한 체계를 국제적으로 수립하였다는 점이다. 또한, 2000 고속선안전기준과 같이 잠정 가이드라인은 엄격한 규범적 기준을 적용하는 것이 불가능하기 때문에 유연한 위기관리시스템을 기반으로 하여 개발되었다. 그러나 동 가이드라인은 강행적인 성격의 협약 또는 코드가 아니며 단지 잠정적인 권고 기준일 뿐이다. WIG 선의

상업화를 촉진시키고 신뢰성 높은 안전 기준을 효과적으로 제시하기 위하여는 WIG 선의 국제 기준은 강행적인 성격의 코드 또는 협약으로 채택되어야 한다. 또한 C형 WIG 선은 동 가이드라인에 적용을 받지 않고 ICAO 규칙을 준수하도록 규정되어 있으나 C형 WIG 선의 운항 모드를 지배하는 명확한 기준이 없다는 것도 동 가이드라인의 문제이다.

4.3.3 개정된 1972 국제해상충돌예방규칙(Revised COLREG 1972)^{lx}

2001 년 11 월 1972 국제해상충돌예방규칙의 WIG선과 관련한 개정안이 IMO에 의해 채택되고 2003 년 11 월 29 일 발효되었다. WIG선 잠정 가이드라인은 강행성이 없는 권고적인 성격의 기준이지만 국제해상충돌예방규칙은 강행적인 협약이어서 이 개정안의 의미는 IMO가 WIG선을 공식적, 국제법적으로 인정하는 계기가 되었다는 점이다.^{lxi} 개정된 국제충돌예방규칙은 WIG선의 운항적 특성을 고려하여 WIG선의 충돌을 예방하기 위한 규칙을 제정하였다. 구체적으로, WIG선의 정의를 규정하고 다른 선박과 같이 WIG선에 등화를 설치하고 충돌 회피를 위한 조치를 정해진 규칙에 의거 취하도록 의무를 부과하고 있다. 표 3.1 에서 언급한 바와 같이 C형 WIG선의 항공기 모드는 개정된 COLREG 규정에 적용되지 아니한다. 이러한 C형 WIG선의 항공기 모드는 ICAO 규정만이 적용된다. 그 외 나머지 운항 모드는 개정 COLREG 규정을 적용 받는다.

4.3.4 WIG 선에 대한 STCW 권고

2005 년 당직과 훈련의 기준에 대한 소위원회가(STW) 제정한 WIG선의 배수량 모드와 지면효과 모드에서의 WIG선 사관을 위한 훈련, 기술, 지식을 위한 권고와 일반적 원리가 해사안전위원회로부터 승인되었다.^{lxii} 일반적으로 IMO협약의 범위는 두 가지, 즉, 설계, 구조, 증서와 관련된 협약, 그리고 운항과

선원증서와 관련된 협약으로 분류된다.^{lxiii} WIG선과 관련하여 전자의 사항은 WIG선 잠정 가이드라인이며, 후자의 사항은 개정된 COLREG과 WIG선 승무원을 위한 권고이다. 기본적으로 동 권고는 WIG선이 선박과 항공기의 특성을 동시에 갖고 있어 국제해사협약에 의한 승무원의 자격기준과 국제항공협약에 의한 자격기준을 동시에 인정하고 있다. 구체적으로 해사분야 자격기준으로 STCW 증서를, 항공분야 자격기준으로 국제민간항공에 대한 시카고 협약의 ICAO 증서를 WIG선에 대한 사관 증서로 인정하고 있다. 이러한 자격기준에 더하여 WIG선 사관은 훈련을 이수하고 동 기준에 의한 추가적인 지식과 기술을 갖고 있음을 증명하여야 한다. 이러한 추가적인 자격기준을 충족하고 증명될 때 WIG선 전문 증서가 주관청으로부터 수여된다. 한편, 동 권고에 의하면 WIG선은 최대이수중량으로 소형 (10 톤까지), 중형(10 톤에서 500 톤까지), 대형(500 톤 초과) 등 세 가지로 분류된다. 동 권고안은 A형 및 B형 중형 WIG선에 대한 적용을 권고하며 소형과 대형 WIG선에 대한 기준은 아직 개발되지 않았다.

4.4 Prescriptive Regulation vs. Safety Case Approach

전통적으로 해사 협약은 매우 규범적인 규칙이다. 이것은 해양 사고에 대한 대응과 경험적 지식에 기반하여 IMO협약이 제정되고 개정되었기 때문이다. 또한 전통적인 선박은 광범위한 공학적 연구와 적용을 통하여 발전하였기 때문에 규칙을 일반화하여 적용하는 것이 가능하였다.^{lxiv} 그러나 규범적인 규칙을 기술적으로 또한 매우 독특한 운항 특성을 갖는 혁신적인 선박에는 적용하는 것은 매우 비 합리적이다. 또한 규범적인 규칙을 WIG선과 같은 전혀 새로운 종류의 교통 수단에 적용하는 것은 이러한 신기술 개발에 저해가 되며 실제로 적용이 어려운 조항에 의하여 발생하는 비합리적 비용 때문에 선박의 상업화에도 상당히

부정적인 영향을 미친다. 이러한 문제와 관련하여 호주해사청(AMSA)은 다음과 같은 견해를 피력하였다.

“규칙은 신기술에 적용할 수 있는 만큼 이행되어야 하며 또한 이러한 신기술은 규칙에 의해 개발이 방해 받지 않아야 된다.(적정한 안전수준의 확보를 전제로)”^{lxv}

이러한 맥락에서 안전관리케이스 접근법으로 알려져 있는 대안이 고려될 수 있다. 안전관리케이스 접근법은 핵심적인 규범, 안전평가, 안전평가 결과로부터 도출된 안전 기준 그리고 안전 관리 등 네 가지의 주요 요소로 구성되는 체계적인 위기관리 시스템이다. 비숍과 브룸필드(1995)는 안전관리케이스를 다음과 같이 정의하였다.

“시스템에 대한, 정해진 환경에서 정해진 역할에 대하여 적합하고 안전함을 확인하는 문서화된 증명이다.”^{lxvi}

전형적인 선박은 관련 규칙이 제정되고 승인된 후 동 규칙에 따르기 때문에 규범적 접근법은 위에서 아래로의 접근법이라고 할 수 있는 반면, 안전관리케이스 접근법은 새로운 형태를 갖고 있는 선박의 독특한 특성이나 신기술의 개발에 따른 새로운 기준의 제정 없이 체계적인 위기 관리 시스템을 통하여 설계자, 제작자 그리고 운항자에게 문제를 해결하는 방법을 제공하여 주기 때문에 밑에서 위로의 접근법이라고 할 수 있다.^{lxvii} 사실, 안전관리케이스 접근법은 선주, 설계자, 제작자, 그리고 운항자 등 모든 이해 당사자들에게 직접적으로 책임을 부과한다. 그러나 이 접근법은 당사자들에게 설계, 구조 그리고 운항적인 문제를 해결할 수 있는 기술과 새로운 방법을 개발하는 자유 또한 부여하고 있다.^{lxviii} 안전관리

발전 같은 다른 많은 산업에 이미 성공적으로 적용되고 있다.^{lxix} 해사분야에서는 이 접근법이 안전의 동등 수준이라는 개념으로 고속선안전코드에 도입되었다. 고속선안전코드는 규범적인 규칙과 함께 체계적 위기관리절차를 포함하고 있다. 동 코드는 안전관리케이스의 기본적인 요소인 FMEA(Failure Mode Effect Analysis)를 위한 절차와 확률 개념을 사용하고 있으며, 동등한 수준의 설비 또는 조치가 검토될 때 이러한 방법들이 사용된다. 이러한 절차를 통하여 안전의 동등수준과 상응되는 조치가 주관청에 의해 인정된다.

WIG 선과 관련하여, WIG 선이 선박의 한 종류로 분류 되었지만 WIG 선의 많은 운항적, 기술적, 물리적 특성은 항공기와 유사하다. 또한, 해사법과 항공법 체계 또한 근본적인 차이를 가지고 있다. 예를 들어 화재, 충돌 또는 기계적 오류로 인한 비상 상황이 발생하였을 경우를 대비하여 선박은 이러한 상황에 대처하기 위한 충분한 예비적 수단을 갖도록 요구된다. 그러나 항공기에 경우, 설계, 제작, 검사와 유지에 고도의 안전 기준을 적용하여 이러한 상황 자체가 발생하지 않는 것을 전제로 하여 안전 기준을 제정한다. 이러한 관점에서 WIG 선에 전형적인 엄격한 규범적 규칙의 적용은 비합리적이며, 안전관리케이스 접근법 적용이 적당하다고 판단된다. 국제고속선규정과 같이 WIG 선 가이드라인은 유연한 위기관리시스템, 즉 안전관리케이스 접근법을 적용하고 있다. 상기와 관련하여 동 가이드라인은 다음과 같이 밝히고 있다.

“잠정 가이드라인은 유연한 위기관리시스템에 기반을 두고 있다. 이러한 개념은 국제고속선기준을 구성하는 개념이며, 전통적 규범적 기준으로부터의 패러다임의 변화이나, 이 시스템의 목적은 SOLAS 1974 와 상응하는 안전 기준을 달성하기 위한 것이다.”^{lxx}

동 잠정 가이드라인은 WIG 선에 위해조절조치(risk control measures)를 제공하는 안전평가절차에 주안점을 두고 있다. 비록 동 가이드라인에 WIG 선의 시스템과 관련하여 일반적으로 인정되는 위해조절조치(risk control measures)가 규범적 기준으로 규정되어 있지만 안전평가결과 도출되는 위해조절조치(risk control measures)는 이러한 규범적 규칙에 우선 한다.

요약하면, WIG 선 잠정 가이드라인은 강제적인 규범이 아니나 동 가이드라인의 안전관리케이스 접근법은 올바른 법적 관리방향이다. 실제로 검증되지 않은 WIG 선과 같은 새로운 선박은 안전관리케이스 접근법이 안전을 확인하고 혁신적인 기술 개발을 유도하며 상업적 운용을 촉진하기 위하여 가장 적합한 방법이다.

5. WIG 선의 안전문제

5.1 개요

WIG 선의 운용과 관련하여 안전 문제의 중요성은 두말할 필요가 없을 것이다. WIG 선이 많은 장점을 가졌다고 해도 안전에 대하여 보장이 되지 않는다면 WIG 선의 상용화는 불가능할 것이다. 이러한 관점에서 WIG 선의 안전관련문제, 특히 운용, 인적요소, 그리고 안전관리를 포함한 안전평가에 관하여 검토하고자 한다.

5.2 운항적인 측면

5.2.1 안전운항고도

WIG선은 수면상 바로 위에서 매우 낮은 고도로 운항 함으로 WIG선이 불규칙한 파도에 접촉하여 손상 받을 우려가 있다. 이러한 상황을 피하기 위하여

WIG선은 충돌 가능성을 최소화 하기 위하여 안전운항고도로 운항하여야 한다. 러시아의 운항경험에 비추어 보면, 안전운항고도는 다음과 같이 권고 되고 있다.

lxxi

$$h = \left(\frac{H_{3\%}}{2} \right) + (0.1 \cdot c) \quad (5.1)$$

$H_{3\%} - 1.54 H_{1/3}$ ($H_{1/3}$: 유의파고)

c – 익현

유의파고는 12 시간 동안 파도의 높은 순서대로 1/3 의 파고를 평균한 파도 높이를 말한다. 상기의 식과 같이 안전운항고도는 유의파고와 익현에 의해 좌우된다. 이 안전운항고도가 WIG 선의 지면효과의 범위를 초과하는 경우 이 WIG 선은 지면효과 운항을 할 수가 없다. 그러므로, 안전과 경제적 효율을 위하여 WIG 선의 최소안전운항고도를 지켜야 하는 것은 매우 중요하다. 더하여, 설령 WIG 선이 불규칙파와 충돌하였을 경우라도 WIG 선이 위험에 처하는 일이 없도록 WIG 선의 구조는 충분히 검증되어야 한다. 상기의 식을 근거로, WIG 선의 감항성과 안전운항고도를 증가시키기 위하여 WIG 선의 대형화 필요성을 합리화 시켜주고 있다.

5.2.2 충돌회피

Fig.5.1 은 장애물과 충돌을 회피하는 WIG 선의 두 가지 조종법을 보여주고 있다. 하나는 수평적 조종법이며 또 다른 하나는 수직적 조종법이다. IMO 의 WIG 선 잠정가이드라인에 의하여 분류된 A 형 WIG 선은 단지 전자의 운항능력만을 보유하고 있으며 B 형과 C 형의 WIG 선은 앞의 두 가지 방법으로 장애물을 회피할 수 있다. WIG 선은 지면 또는 수면과 접촉할 위험이 있어 경사각(Bank angle)을 크게 할 수 없으며 따라서 선회반경이 비교적 크므로 WIG 선이 장애물을

발견하고 즉시 조치를 취할 수 있는 정교하고 정밀한 장애물 탐지장치가 요구된다.

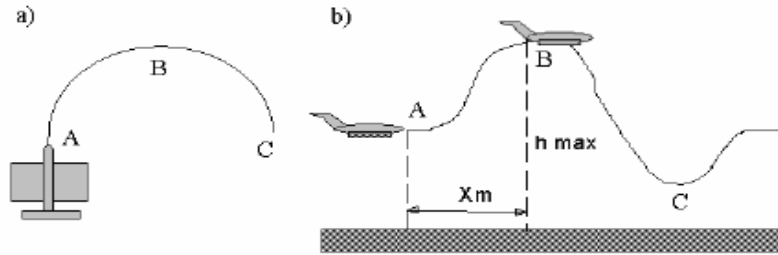


Fig.5.1 - Two Types of Maneuvers to Avoid Collision (a: Horizontal, b: Vertical)

(Source: Kornev and Matveev (2003))^{lxxii}

WIG선의 운용적 측면에서 WIG선의 충돌회피와 관련한 안전문제는 매우 중요하다. 사실, 해상의 다른 선박과의 충돌 사고의 가능성 때문에 WIG선에 대한 안전문제는 종종 제기되고 있는 실정이다.^{lxxiii} 그러나 Bogdanov에 의하면, 러시아의 10년 이상의 운항 경험상 WIG선의 정교한 항법시스템, 수직점프기능, 정확한 조종성능 그리고 빠른 회피 동작으로 인하여 충돌과 관련된 어떤 사고도 일어나지 않고 있다고 주장하였다. WIG선은 2003년 11월 29일 발효된 1972 국제충돌예방규칙에 삽입되었다. 이 개정된 COLREG 1972에 따르면, WIG선은 이착수시 고광도의 전주등 그리고 지면과 근접하여 비행할 때는 전통적인 선박과 같이 항해등을 사용하여야 한다. WIG선과 관련하여 개정된 COLREG 1972의 의미는 WIG선은 동 협약에 따른 충돌예방과 회피에 관한 책임과 의무를 다하여야 한다는 것을 의미한다. WIG선 잠정가이드라인과는 달리 WIG선은 강제 협약인 1972 COLREG 규정을 준수하여야만 한다.

암스트롱(1995)^{lxxiv} 은 WIG선의 해상교통안전과 관련하여 의문을 표시하였는데, 그 이유는 현재의 해상레이더는 장애물의 정확한 정보를 표시하지

못한다는 것이었다. 따라서, 레이더 스크린에 표시되는 이미지가 대형유조선인지, 작은 어선인지 아니면 다른 WIG선인지 식별이 불가능하다는 것이었다. 이러한 문제와 관련하여, IMO는 최근 야간항해, 무중항해, 또는 원거리에서 항해하는 선박을 식별하기 위한 도구를 제공하기 위하여, 선박자동식별장치(Automatic Identification System :AIS)^{lxxv}를 도입하였다. 이것은 선박간에 그리고 선박과 VTS 스테이션간에, 흘수, 화물, 예정입항시간, 목적지, 항로 같은 선박의 항해와 관련된 정보, 위치, 코스, 속력 같은 동적인 정보, IMO 번호, 선명, 호출부호 같은 정적인 정보를 교환할 수 있도록 하고 있다. AIS는 해상의 선박 상태와 정보를 제공하기 때문에 선박 그리고 WIG선의 충돌로 인하여 제기되는 안전 문제를 크게 향상시킬 것이다. 특히 WIG선과 관련하여 WIG선의 운항모드와 속도를 고려하면 AIS는 다른 선박 또는 다른 WIG선과의 충돌사고를 예방하는 매우 유용한 도구임이 틀림없다. SOLAS 5 장 19.2 규칙과 동일하게 WIG선 잠정가이드라인 12.14 규칙은 AIS가 WIG선에 설치되도록 권고하고 있다.

그러나, 모든 여객선은 크기와 상관 없이 AIS 에 대한 SOLAS 규정을 강행적으로 적용을 받지만 300 톤 미만의 국제항해 화물선, 500 톤 미만의 비국제항해 화물선, 그리고 어선은 동 규정에 적용을 받지 아니한다. 이것은 어선과 소형선박이 산재하여 있는 연안에서 운항하는 WIG 선에 안전상 문제가 된다. 그러므로, WIG 선 항로 근처에서 항해하는 모든 선박에 WIG 선과의 충돌사고를 예방하기 위하여 AIS 가 설치되도록 조치하여야 한다. 또한, 선박의 조종과 물리적 상태, 운동, 위치 등의 정보를 기록하고 보관하는 선박항해기록장치(Voyage Data Recorder)에 대한 규정이 SOLAS 제 5 장, 그리고 WIG 선 잠정가이드라인 12.15 규칙에 기술되어 있다. VDR 은 직접적으로 충돌사고를 예방하는 장치는 아니지만 해난조사를 통하여 충돌의 원인을 증명할

때 매우 중요한 역할을 담당할 것이다. 따라서 VDR 이 제공하는 정확한 정보는 WIG 선의 충돌회피성능을 향상시키는 중요한 실마리를 제공할 수 있을 것이다.

연안에서의 WIG선의 안전 운항을 위하여 Vessel Traffic Service는 필수적이다. VTS에 대한 IMO 가이드라인^{lxxvi}은 다음과 같이 정의하고 있다.

“환경보호와 해상교통의 안전과 효율을 향상시키기 위하여 계획되고 권한있는 기관에 의해 시행되는 모든 서비스이다. VTS 는 항내 또는 항로안에서 단순한 정보를 제공하는 것에서부터 광범위한 관리에 이르는 범위를 포함한다.”

VTS 는 정보의 수집, 평가, 유포 등 세 가지의 기본적인 임무를 수행하는 해상교통 모니터링 시스템이다. WIG 선의 안전운항을 위하여 VTS 는 단순한 정보전달자에 그쳐서는 안되며 항공기를 관제하는 관제탑의 역할 처럼 항내 또는 항로상에서 광범위한 해상교통안전관리를 수행하며, 충돌방지를 위한 적극적인 역할을 담당할 때 WIG 선의 안전운항이 이루어 질 수 있을 것이다.

5.3 인적요소

대부분의 해난사고는 인적과실로 인하여 발생한다는 것은 잘 알려져 있는 사실이다. 이것은 신뢰성 높은 고도의 현대 기술이 개발되었어도 해운산업의 인적요소와 관련하여 아직 많은 일이 남아 있음을 의미한다. 인적요소는 선박의 안전운항을 유지하기 위한 가장 중요한 요소이다. 초기 단계에 있는 WIG 선의 상용화 가능성은 인적요소 즉, WIG 선을 안전하게 조정할 수 있는 승무원에게 달려 있다고 해도 과언이 아니다.

5.3.1 항공사고 vs. 해난사고

미국 보잉사의 항공기의 사고 원인 연구 결과인 Fig.5.2 는 지난 10 년동안 상업용 항공기 사고의 56%가 항공기 승무원에 의한, 즉 인적과실로 인하여 발생한 사실을 보여주고 있다. 단지 21%만이 기체 등에 대한 기계적 오류로, 그리고 13%는 기상이상으로 인하여 사고가 발생하였다. 그러나 이러한 사고 조차도 디스뮤케(1999) ^{lxxvii} 등에 따르면 의사결정 및 의사소통의 문제, 선장의 권위 또는 승무원의 근무 환경 등에 의하여 유발되어 실제로 모든 항공 사고의 80%가 인적과실로 인한 사고라고 할 수 있다고 하였다.

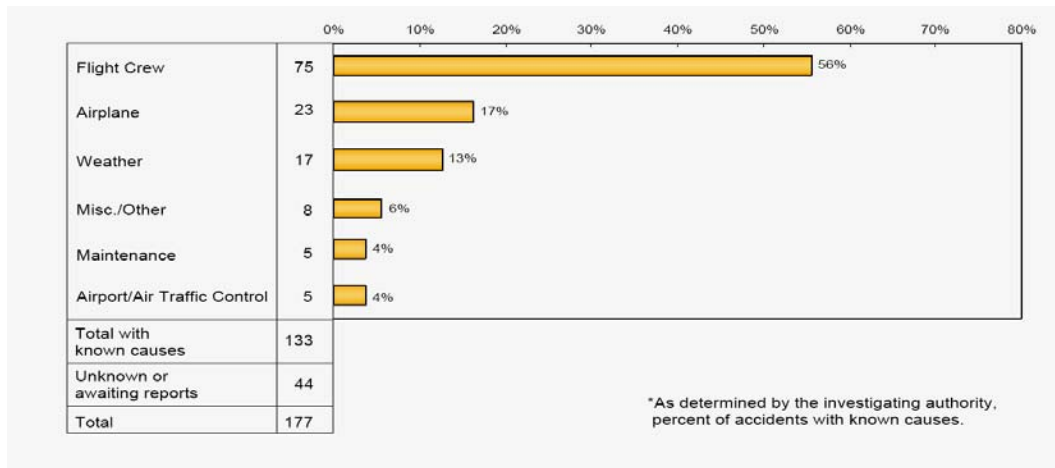


Fig.5.2 - Aircraft Accident by Primary Causes (Hull Loss Accident-World Wide Commercial Jet Fleet 1995 through 2004)(Source: Boeing (2004))^{lxxviii}

Fig.5.3 은 UK P&I 에 의해 분석된 자료로 모든 해난사고의 62%가 인적과실로 인하여 발생하였음을 보여준다. 그러므로 대부분의 항공사고와 해난 사고는 인적과실로 인하여 발생하였다고 할 수 있다.

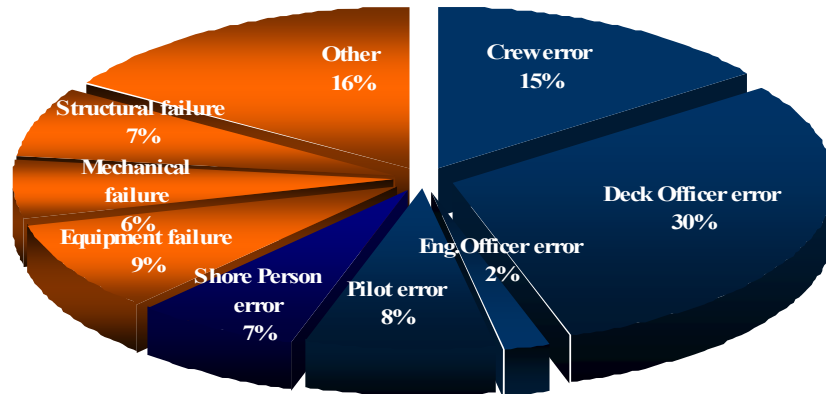


Fig.5.3 – The Root Causes of Maritime Accidents(Source: *UK P&I Club^{lxxxix}*)

5.3.2 수행수준(Performance Levels)

라스무센(1983)^{lxxx}에 의하면 인간의 인식력과 행동은 입력과 출력 같은 단순한 단계로 작동되는 것이 아니며 인간은 문제를 해결하기 위해 능동적으로 목표를 설정하고 행동을 위한 적합한 정보를 구한다. 문제를 해결하기 위한 행동양식에 대하여 라스무센은 기술기반(skill-based), 규칙기반(rule-based), 지식기반(knowledge-based performance) 등 세 가지 심리학적인 동작 또는 행동양식을 정의하였다. 기술기반의 동작은 일상적이며 반복적인 행동으로 대체로 무의식적인 습관 속에서 행해지는 동작이다. 이것은 동작을 수행하기 위한 의식적인 통제를 요구하지 않는다. 동작은 조작자가 훈련 프로그램에서 배운 것에 근거하여 무의식적이며 자동적으로 행해진다. 규칙기반의 동작은 조작자의 지식 속에 이미 존재하는 기억된 절차와 규칙을 익숙한 작업 상황 속에서 적용하는 것이다. 즉, 예상되는 문제에 대한 표준작업절차(Standard Operating Procedure :SOP)와 같은 사전에 준비된 문제해결절차로 그 상황 속에 적용하는 것이다. 그러나 모든 가능한 상황을 사전해결책에 포함하는 것은 실제로

불가능하다. 지식기반의 동작은 보다 더 진보된 수행 수준으로 새로운 상황에 적용하는 것을 말한다. 표준작업절차에 포함되지 새롭고 복잡한 상황은 유연하게 판단하여 적용시켜야 된다. 이 단계에서 조작자는 예상하지 못한 새로운 상황속에서 무엇을 수행하여야 하는지 결정할 수 있도록 그 상황에 적용될 수 있는 근본적인 원리와 규칙을 이해하고 있어야 한다. 또한 이 단계에서는 적극적이고 긍정적인 태도가 문제해결절차 또는 의사결정단계에서 중요한 영향을 미친다.

항공산업계의 경험에 의하면 ^{lxxxi}, 인적과실로 인한 사고의 주요원인은 표준작업절차에 기술된 매뉴얼과 점검표 즉, 규칙기반의 수행의 부족으로 인하여 발생한 것이 아니고, 기술적 또는 조작기술, 즉 기술기반의 행동양식의 부족으로 발생한 것도 아니라고 한다. 따라서, 사고의 주요인은 지식기반 행동양식과 관련이 있다. 이러한 문맥에서 WIG선의 인적과실로 인한 사고를 예방하기 위하여 조종실자원관리 또는 선교자원관리 같은 지식기반 수행 능력을 향상시키는 프로그램의 필요성이 제기된다.

5.3.3 조종자원관리 vs. 선교자원관리

지식기반 행동양식과 관련된 인적 과실로 인하여 1970 년대에 많은 항공사고가 발생하였음이 밝혀졌다. ^{lxxxii} 이것에 대한 대응 조치로 1980 년대에 조종자원관리 프로그램이 항공사와 미국항공우주국(NASA) ^{lxxxiii} 에 의해 개발되었다. 조종자원관리 프로그램의 목적은 사회심리학적인 요소와 관련이 있는 예기치 못한 상황에 대처하기 위하여 승무원의 지식기반 의사결정 수행능력을 향상시키기 위한 것이다. 켄슨은 조종자원관리(Cockpit Resource Management : CRM) 훈련을 다음과 같이 기술하였다. ^{lxxxiv}:

“조종자원관리 훈련은 성격을 개조하기 위하여 개발된 것이 아니다. 이것은 지식, 사고의 절차, 성격, 태도 배경의 생산물인 승무원의 행동을 다루기 위한 것이다. 이 훈련 속에서 우리는 다른 승무원들과 함께 조화를 이루면서 의사결정을 하기 위하여 명확하게 사고하는 방법을 가르친다. 이러한 훈련은 사느냐 죽느냐 같은 극한 상황 속에서 보다 유연한 행동전략과 보다 조화된 승무원들의 수행을 이끌어 낸다.”

오늘날, 대부분의 나라의 모든 상업용 항공기 조종사는 조종자원관리훈련을 받아야 만 한다.

선교자원관리(Bridge Resource Management : BRM) 훈련개념은 원래 항공산업의 CRM 훈련으로부터 유래되었다. 이것은 안전을 증진시키기 위한 체제를 다른 산업의 경험으로부터 도입한 아주 훌륭한 사례이다. CRM 훈련 개념이 해운산업에도 적용 가능하다는 가정을 전제로 1991 년 3 월 14 일 미국교통안전위원회(NTSB)는 그리스의 탱커선 M/V World Prodigy 사고와 관련하여 갑판사관을 위한 선교자원관리 훈련을 개발하고 IMO에서 BRM 훈련을 채택하도록 미국 해안경비대에게 권고하였다.^{lxxxv} 또한 1993 년 SAS 비행학교는 선교자원관리 훈련코스를 개발하였고 마침내 IMO는 1995 년 BRM 컨셉을 STCW Code B편에 포함시켰다.^{lxxxvi} IMO 항해안전 소위원회^{lxxxvii} 에 따르면, 선교자원관리의 주목적은 다음과 같다.

“선박의 선장이 승무원들이 휴식을 취하고, 훈련되고 어떤 상황에도 대응할 수 있도록 선박의 선교팀을 관리하는 것을 지원하고, 정해진 당직환경에서 결정에 영향을 미치는 위험요소와 요구되는 작업량을 선박의 선장이 인지하도록 도와주고, 선교팀원들이 훈련되고 그들의 책임을 잘 인식하는 것을 확인하고,

팀원들이 선장 또는 도선사를 지원하고 서로 상호 작용이 잘 되도록 도와주는 것이다.”

선교자원관리 훈련은 선박조종, 항로계획 또는 항해훈련에 관한 것이 아닌, 승무원들이 스스로 자신들의 태도와 수행상태를 점검하는 기회를 제공하고 모든 승무원들의 적극적인 참여를 요구하고 태도와 행동에 집중하여 승무원의 기능에 대하여 초점을 맞추는 훈련이다. 그러나 선교자원관리 훈련은 강제적으로 요구되는 훈련이 아니며 권고적인 훈련이다. 또한 IMO 의 모델 훈련코스에도 이러한 선교자원관리훈련은 개발되지 아니하였다. 항공과 해양사고의 대부분 원인을 차지하고 있는 인적과실에 의한 사고를 최소화하기 위하여 WIG 선 승무원에 대하여 이러한 조종자원관리 또는 선교자원관리 훈련이 필요하다. 상용항공기 조종사에게 조종자원관리훈련 이수가 요구 되듯이 WIG 선 승무원은 CRM 또는 BRM 훈련을 이수하도록 강제규정이 제정되어야 하며, IMO 모델훈련코스 또한 개발되어야 한다.

5.4 안전평가(Safety Assessment)

4 장에서 언급하였듯이 전통적인 규범 접근법은 WIG선과 같은 혁신적인 교통수단에는 비용 효과 면에서 적합하지 않다. 그와 반대로 안전관리케이스 접근법 또는 유연한 위기관리법은 WIG선의 안전을 확보하고, 신기술의 개발을 유도하며, 또한 상용화를 촉진하는 효과적인 방법이다. 이러한 안전관리케이스 접근법에서 가장 중요한 요소는 안전평가라고 할 수 있다. WIG선 잠정가이드라인에^{lxxxviii} 위해 조절 방법으로 광범위하게 인정되는 규범적인 권고가 규정되어 있지만 안전평가에 의해 도출되는 위해조절방법(Risk Control Option)이 각각의 WIG선에 적용되는 규칙이 된다. 이러한 안전평가에 의해 도출되는 위해조절방법은 규범적인 권고를 무효로 할 수 있으며 우선적으로

적용된다. 따라서 안전평가절차는 WIG선의 특정 규정을 개발하는 중요한 과정이다.

5.4.1 안전평가절차

CRM개념과 마찬가지로, 안전평가절차도 항공 분야로부터 유래되었다. lxxxix 안전평가절차의 목적은 WIG선의 모든 기능과 시스템 설계를 철저히 검토하고 확인하는 것이다. WIG선 잠정가이드라인에 의하면 안전평가는 3 단계로 나누어지며, 표 5.1 과 같이 개발사이클의 단계에서 사용되는 3 개의 다른 절차가 있다.

Table 5.1 - Relationship Between Safety Assessment Processes and the Different Phases of the Development Cycle (Source: *IMO (2002)*)^{xc}

Assessment process:	Functional Hazard Assessment (FHA)	Preliminary System Safety Assessment (PSSA)		Design implementation	<i>System Safety Assessment (SSA)</i>
Purpose of process	- Identify and classify failure conditions - Establish safety objectives	- Establish system and item safety requirements - Develop specifications for hardware procurement			- <i>Verify that safety requirements defined in FHA and PSSA are satisfied</i>
Development cycle:	<i>Concept development</i>	<i>Preliminary design</i>	<i>Detailed design</i>	<i>Procurement</i>	<i>Design validation</i>

기능적 위해도 평가(Functional Hazard Assessment:FHA)는 추진력 이상, 전원상실 등의 오작동 상황을 식별하고 이러한 상황을 경, 중, 위험 그리고 재난 같은 상황으로 분류한다. 그 결과 절차의 목적은 확률 개념을 사용하여 확립될 수

있다. 예비시스템안전평가는 기능적 위해도 평가로부터 제안된 사안을 검토하고 안전 시스템을 확립하고 각 장치의 요구되는 사양을 개발한다. 마지막으로 시스템안전평가(System Safety Assessment:SSA) 는 FHA와 PSSA로부터 개발된 안전기준을 확인하고 인증한다. FTA(Fault Tree Analysis), DD(Dependence Diagrams), FMECA(Failure Modes Effect and Criticality Analysis), FMES(Failure Modes and Effects Summary), ZHA(Zonal Hazard Analysis) 같은 안전평가방법을 WIG선 안전평가를 위하여 사용할 것을 권고하고 있다.^{xcii} 독일선급의 경험에 의하면^{xciii}, WIG선의 기계류와 전기설비는 기본적으로 규범적인 규정을 적용하고 시스템안전평가를 고려하였다고 한다. 따라서, WIG선의 안전개념은 네 가지 요소 즉, 핵심규범요소, 안전평가, 안전평가로 도출된 위해도 조절방법, 그리고 안전관리로 구성된다고 할 수 있다.

5.4.2 안전관리 (Safety Management)

안전평가 또는 규범적 규칙에 의해 확립된 안전기준을 운항 중 유지하기 위하여 안전관리시스템(International Safety Management)이 확립되어야 하고 수행되어야 한다. 안전관리시스템은 SOLAS 9 장과 국제안전관리규약에 의해 국제항행선박에 적용되고 있는 제도이다. 안전관리는 선박의 운항, 안전관리 그리고 오염방지와 관련하여 회사와 구성원들이 회사의 정책을 이행하도록 하는 회사에 의해 확립된 체계적인 문서화된 시스템이라고 할 수 있다. ^{xciii} 그러나 안전평가와 달리 안전관리는 새로운 기준을 제정하는 절차가 아니라 안전평가에 의한 결과를 수행하고 제도화 하는 것이다. 사실상 ISM 코드는 인적과실에 의한 해난사고와 해운회사의 열악한 안전관리기준에 대한 우려로 제정되었다. ISM 코드는 선원의 훈련, 비상대비, 운항절차 같은 운항규정의 수행에 초점을 맞추고 있다. 따라서 인적과실로 인한 사고를 최소화 하기 위하여 ISM 코드의 이행은 매우 중요하다고

할 수 있다. SSA와 PSSA로부터 도출된 안전기준의 효과적인 이행을 위한 방법으로 WIG선 안전관리는 WIG선의 안전을 최종적으로 완성하고 유지하는 절차라고 할 수 있다.

6. 결 론

WIG 선의 상용화 가능성에 대하여 기술적, 경제적, 법적인 측면과 안전문제와 관련하여 검토하였다. WIG 선은 지면효과로 인하여 80 노트에서 300 노트에 이르는 매우 빠른 속도로 운항하며 또한 뛰어난 이론적 효율을 가지고 있는 등 매력적인 특성을 가지고 있다. 지면효과는 1930년대초에 발견되었지만 WIG 선의 실용화는 1960년대부터 시작되었으며, 민간용으로는 1980년대부터 개발이 시작되었다. WIG 선은 대형화 될수록 감항성과 효율이 높아지나 현재까지 주로 소형의 레저용으로 개발되고 있다.

이론적으로, WIG 선은 지면효과로 인하여 동등한 항공기 보다 효율이 높고 동등의 고속선보다 빠르게 운항할 수 있다. WIG 선의 양항비와 Breguet range 는 WIG 선의 높은 효율을 증명하고 있다. WIG 선의 이수를 위하여 큰 유체저항을 극복해야 하는 것은 WIG 선의 큰 단점이다. 이 저항의 극복을 위하여 거대한 동력이 요구되므로 WIG 선의 효율을 매우 악화시킨다. 그러므로 WIG 선의 이수를 도와주는 보조부양장치의 개발이 요구 된다.

WIG 선의 상용화 가능성을 검토하기 위하여 WIG 선의 대한 경제적 타당성 분석은 매우 중요하다. WIG 선의 경제적 타당성을 이론적 및 실제적인 방법으로 분석하였다. WIG 선은 이론적으로 전통적인 선박 그리고 항공기와 비교하여 보다 높은 효율을 가지고 있다. 수송매체의 효율을 고전적으로 분석하는 방법인 카만 가브리엘리 다이어그램은 WIG 선이 선박과 항공기의 틈을 메울 수 있는 잠재력을 보여주고 있다. 또한 유상하중과 속력과 관련한 경제적 효율을 보여주는 수송 생산성의 값, 그리고 유상하중, 속도, 추진동력, 연료소비율, 여객의 수를 고려한

수송유효성은 WIG 선이 다른 선박 또는 항공기와 비교하여 높은 효율을 가지고 있음을 보여준다. 상기의 효율과 관련하여 WIG 선의 크기와 속력은 이러한 효율에 큰 영향을 미친다. 결론적으로 WIG 선은 상용화하기 위한 이론적인 경제적 타당성을 가지고 있다.

다음으로 실용적인 관점에서 WIG 선 상용화의 경제적 타당성을 검토하기 위하여 모델을 통한 비용효과분석을 시행하였다. WIG 선의 선가는 항공기 및 고속선과 경쟁하는 시장환경에서 WIG 선의 직접운용원가의 가장 큰 영향을 미치는 요소로 밝혀졌다. WIG 선이 항공기보다 높은 경쟁력을 확보하기 위한 선가가 본문에서의 분석과 같이 도출되었다. 이는 WIG 선이 상업적으로 성공하기 위하여 동등한 항공기와 비교하여 분명한 경쟁력을 확보할 수 있어야 되기 때문이다. 또한 전장의 이론적 분석과 같이 경제적 관점에서 WIG 선의 속력과 유사하중은 WIG 선의 경제적 경쟁력 확보에 상당한 영향을 미치고 있다. 이 모델에서 WIG 선의 직접운용원가는 연료관련원가에 의해 많은 영향을 받지 않고 있다. 이것은 모델의 거리가 상대적으로 짧고 모델에서 사용된 구 소련에서 개발한 WIG 선이 상업용으로 개발된 WIG 선이 아니므로 지면효과를 충분히 사용하지 못하고 있기 때문이다. 이러한 맥락에서 상업용 WIG 선은 경쟁력을 향상시키기 위하여 지면효과를 최대한 이용할 수 있어야 한다. 또한, 직접적인 경쟁이 없는 틈새시장에서는 WIG 선의 경쟁력 있는 직접운용원가의 범위는 보다 더 넓어 질 수 있어 WIG 선의 선가도 덜 제한 된다. WIG 선은 이론적으로 경제적 효율 면에서 선박 또는 항공기 보다 우월한 위치에 있다. 그리고 앞서 언급한 바와 같은 조건하에 상용화를 위한 실제적인 경제적 타당성을 확보하는 것은 가능 하다.

WIG 선에 관한 국제법의 제정은 WIG 선의 상용화를 지원하기 위하여 절대적으로 필요 한다. 최근 WIG 선과 관련한 몇몇의 규칙이 제정되었지만

여전히 문제는 남아 있다. WIG 선 잠정가이드라인은 강제적 규칙이 아니고 권고적 기준이다. WIG 선의 상업적 운항을 촉진시키고 규칙을 보편적으로 적용하기 위해서는 동 가이드라인의 강제적 협약화가 필요하다. 더구나 동 가이드라인은 C형 WIG 선에는 적용이 되지 않는다. C형 WIG 선의 항공모드만 제외하고 나머지 모드는 A형 및 B형 WIG 선과 동일한 운항모드를 갖고 있음을 고려할 때, C형 WIG 선을 적용 할 수 있는 규정이 제정되어야 한다. STCW 협약과 관련하여 WIG 선에 대한 강행적 STCW 규칙은 아직 제정되어 있지 않다. 또한 소형과 대형 WIG 선의 승무원에 대하여 아무런 기준 또는 권고안도 만들어 지지 않았다. 따라서 이러한 WIG 선 승무원에 대한 기준이 제정되어야 하며 WIG 선에 적용되는 강행적인 STCW 규정이 제정되어야 한다. 전통적인 규범적 기준은 WIG 선과 같은 새로운 기술을 적용하는 선박의 개발을 저해하고 상용화의 진전을 막는 장애물이 될 수 있으므로 WIG 선과 같은 선박에는 안전관리케이스 접근법이 기준 및 협약을 제정하는 방법으로 보다 더 적합하다. 그러므로 WIG 선에 대한 국제기준은 안전관리케이스 접근법을 기반으로 하여 제정되어야 한다.

안전문제는 WIG 선의 상용화 가능성 검토에서 가장 중요한 요소이다. WIG 선의 안전이 확보되지 않는다면 WIG 선에 많은 경제적 우수성이 있다고 해도 상용화는 불가능할 것이다. 충돌 회피는 WIG 선의 안전에 매우 중요한 문제이다. 현재의 기술 수준으로 WIG 선이 충돌회피를 할 수 있도록 하는 것은 불가능해 보이지 않는다. 또한, IMO 에 의해 최근 도입된 AIS, VTS, 그리고 VDR 은 충돌예방 측면에서 WIG 선의 안전을 획기적으로 증대시킬 것이다. 그러나 국제항해에 종사하는 300 톤 미만의 선박, 국제항해를 하지 않는 500 톤 미만의 선박 그리고 어선은 AIS 와 VDR 관련 규정 준수의 의무가 없으므로 이러한 선박들은 WIG 선 안전운항과 관련하여 잠재적 위험이 될 수 있다. 그리고 WIG 선 잠정가이드라인에 의하면 WIG 선에 AIS 와 VDR 이 적용되나 이

가이드라인은 강행적 규범이 아니다. 또한 C 형 WIG 선은 이 가이드라인 전체를 적용 받지도 아니한다. 따라서, C 형 WIG 선, 소형선, 그리고 어선 등이 WIG 선의 안전 운항을 방해하지 않도록 WIG 선 항로 주변에서 운항하는 이러한 선박들은 AIS 와 VDR 적용이 되도록 조치되어야 한다. 더하여, VTS 는 WIG 선의 안전운항을 위하여 단순한 정보전달자의 역할에서 탈피하여 광범위한 안전관리를 수행하여야 한다. 해난과 항공사고의 통계에 따르면 대부분의 사고는 인적과실에 기인한다. 게다가, 이러한 인적과실은 지식기반행동의 결핍의 결과이다. 그러므로 WIG 선의 인적과실로 인한 사고를 예방 하기 위하여 지식기반 행동양식을 강화하는 조종자원관리와 선교자원관리 훈련이 WIG 선의 승무원들에게 필요하다. WIG 선의 안전개념은 핵심규범기준, 안전평가, 도출된 안전기준 그리고 안전관리로 구성되어 진다. 안전평가는 WIG 선의 안전기준을 도출하고 안전을 평가하기 위한 중요한 과정이다. 따라서 WIG 선의 상업적 운항을 위하여 필수적인 WIG 선 안전을 확보하기 위하여 안전평가에 의하여 확립된 안전기준의 이행과 유지를 위한 안전관리와 신뢰성 있는 안전평가가 요구된다.

마지막으로, 항로, 램프, 부두, 화물하역설비와 여객을 위한 플랫폼 같은 WIG 선 항만설비는 WIG 선의 상업적 운용을 위하여 설치가 요구 된다. WIG 선의 항만설비에 대한 추가적 논의가 필요하다.

End Notes and References

- ⁱ Losi, P. C. (1995). *The Wingship's potential for strategic lift*. Washington, D.C.: The Industrial College of the Armed Forces, National Defense University.
- ⁱⁱ Malyshev, M. I. (1995). Experience of using ekranoplans in Russian navy. *Proceedings of International Symposium for Twenty-First Century Flying Ships*. (pp.233-244). Sydney: The Institute of Marine Engineers (Sydney Branch).
- ⁱⁱⁱ Fischer, H., & Matjasic, K. (1997). The Hoverwing technology bridge between WIG and ACV. *EAGES 2001 International Ground Effect Symposium, Toulouse, France, June 2001* (pp.1-7). London: The Royal Institution of Naval Architects.
- ^{iv} Sinitsyn, D., & Maskalik, A. (1996). The Ekranoplan is a new type of high speed water transport which can be Used in all seasons. *Proceedings of Ekranoplan and Very Fast Craft*, (pp.152-161). Sydney: The Institute of Marine Engineers (Sydney Branch).
- ^v Rozhdestvensky, K.V. (1995). Ekranoplans: Flying ships of the next century. *Proceedings of International Symposium for Twenty-First Century Flying Ships*. (pp 47-70). Sydney: The Institute of Marine Engineers (Sydney Branch).
- ^{vi} Advance Research Projects Agency (ARPA), U.S. (1994). *Wingship Investigation Volume 1-Final Report*, (AD-A294979). Utica, NY: Author
- Mellow, C. (1996, December/January). When Ship Have Wings: The Russians give the term “flying boats” a whole new look. *Air & Space*.
- ^{vii} Cole, W. (2002, September). Phantom works: The pelican-a big bird for the long haul. *Boeing Frontiers*, 1 (5). Retrieved June 28, 2006, from http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2002/september/i_pw.html
- ^{viii} Day, A. H., & Doctors, L. J. (1995). A study of the efficiency of the Wing-In-Ground-effect concept. *Proceedings of International Symposium for Twenty-First Century Flying Ships* (pp.1-22). Sydney: Institute of Marine Engineers (Sydney Branch)
- ^{ix} Green, W. J. (1997). *The imminent future of ultra-fast ferries is off the water: Breakthrough design offers better efficiency & maneuverability*. Paper presented to the International Conference on Air Cushion Vehicles and Wing-In-Ground Effect Craft sponsored the Royal Institution of Naval Architects in London, 3-5 December 1997.
- ^x Advance Research Projects Agency (ARPA), U.S. (1994). *supra* note 6.
- ^{xi} Scott, J. (2003). *Ground effect and WIG vehicles*. Retrieved June 15, 2006, from <http://www.aerospaceweb.org/question/aerodynamics/q0130.shtml>
- ^{xii} Halloran, M., & O'Meara, S. (1999). *Wing-In-Ground-Effect craft review* (Rep. No. DSTO-GD-0201). Melbourne: Defense Science & Technology Organization.
- ^{xiii} *Ibid.*
- ^{xiv} Hooker, S. (1995). Twenty first century shipping at aircraft speeds. *Proceedings of International Symposium for Twenty-First Century Flying Ships*, (pp.178-232). Sydney: The Institute of Marine Engineers (Sydney Branch).
- ^{xv} Chun, H.H., & Kim, H. J. (2000). Aerodynamic optimization of wing in ground effect craft. *Proceedings of GEM 2000 International Conference* (pp. 81-98). St. Petersburg: Marine Technical University and Institute of Marine Engineers.
- ^{xvi} Carter, A. (1961). Effect of ground proximity on the aerodynamic characteristics of ar1 aerofoils with and without end plates (NASA TN D-970). Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration.
- ^{xvii} Kornev, N. & Matveev, K. (2003). Complex numerical modeling of dynamics and crushes of Wing-In-Ground vehicles. *Proceedings of 41st Aerospace Science Meeting and Exhibit, Reno, Nevada, 6-9 January 2003* (pp.1-9). Reno, Nevada: American Institute of Aeronautics and Astronautics.

-
- ^{xviii} Scott, J. (2003). and Hooker, S. (1995). *supra* note 11 & 14.
- ^{xix} Basin, M. (1997). WIG (Ecranoplane) as a transport vessel and sport craft. *Proceedings of International Symposium and Seminar for the Safety of High Speed Craft*, (pp. 1-12). London: Royal Institution of Naval Architects.
- ^{xx} Advanced Vessel Technologies. (2000). *Advanced vessel technologies: Program element 2.3.1: High speed sealtift design evaluation and analysis*. Tuscaloosa, AL: University of Alabama.
- ^{xxi} Greene, W. J. (1997). *supra* note 9.
- ^{xxii} Halloran, M., & O'Meara, S. (1999). *supra* note 12.
- ^{xxiii} Rozhdestvensky, K.V. (1995). Ekranoplans: Flying ships of the next century. *Proceedings of International Symposium for Twenty-First Century Flying Ships*. (pp 47-70). Sydney: The Institute of Marine Engineers (Sydney Branch).
- ^{xxiv} IMO. Maritime Safety Committee, 76th, 2002. (2002). *Interim guidelines for Wing-In-Ground (WIG) craft* (MSC/Circ.1054). Paper approved at the Maritime Safety Committee, seventy-sixth session, 2-13 December 2002, London.
- ^{xxv} IMO. (2000). *2000 HSC Code: International Code of Safety for High-Speed Craft, 2000: Resolution MSC.97(73) adopted on 5 December 2000*. London: Author
- ^{xxvi} *Ibid.*
- ^{xxvii} IMO. (2002). *supra* note 24.
- ^{xxviii} Gabrielli, G., & von Karman, TH. (1950, October). What price speed? *Mechanical Engineering*, 72 (10), 775-781.
- ^{xxix} *Ibid.*
- ^{xxx} Halloran, M., & O'Meara, S. (1999). *supra* note 12.
- ^{xxxi} Greene, W. J. (1997). *supra* note 9. .
- ^{xxxii} Halloran, M., & O'Meara, S. *supra* note 12.
- ^{xxxiii} Rozhdestvensky, K.V. (1995). *supra* note 5.
- ^{xxxiv} Sinitsyn, D., & Maskalik, A. (1996). *supra* note 4.
- ^{xxxv} Rozhdestvensky, K.V. (1995). *supra* note 33.
- ^{xxxvi} Basin, M. (1997). *supra* note 19.
- ^{xxxvii} Kennel, C. (1998). Design trends in High-Speed transport. *Journal Marine Technology*, 35 (3), 127-134.
- ^{xxxviii} *Ibid.*
- ^{xxxix} *Ibid.*
- ^{xl} Amyot, J. R. (Ed.). (1989). *Hovercraft technology, economics and applications*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Akagi, S. (1993). A Study of Transport Economy and Market Research for High Speed Marine Passenger Vehicles. *Proceedings of Fast 93, Second International Conference on Fast Sea Transportation*. (pp.1129-1142). Yokohama: Society of Naval Architects of Japan.
- Kubo, S. (1993). A concept of Wing-In-Surface-Effect craft as a future passenger transport in Japan. *Proceedings of Fast 93, Second International Conference on Fast Sea Transportation*. (pp.1573-1584). Yokohama: The Society of Naval Architects of Japan.
- ^{xli} Rozhdestvensky, K. V. & Kubo, S. (1997). A Parametric analysis of a flying wing configuration in extreme ground effect. *In proceedings of International Symposium and Seminar for the Safety of High Speed Craft* (pp.78-96). London: Royal Institution of Naval Architects.
- ^{xlii} Taylor, G.K. (2000). *Wise or Otherwise? The Dream or Reality of Commercial Wing In Ground Effect Vehicles*. Paper presented at the *Proceedings of GEM 2000 International Conference*, St. Petersburg, Russia.
- ^{xliii} Stopford, M. (1997). *Maritime economics*. London; New York: Routledge
- ^{xliv} Akagi, S. (1993). *supra* note 50.
- ^{xlvi} *Ibid.*

-
- ^{xlvi} Boeing Information on Cost of the Boeing Jetliners, (June 6, 1996).
- ^{xlvii} Rozhdestvensky, K.V., & Mikhailov, M.A. (1998). Virtual Na (WIG)ation. *Proceedings of Workshop on WISE up to Ekranoplan GEMs* (pp. 125-137). Sydney: The Institute of Marine Engineers (Sydney Branch).
- ^{xlvi} Bogdanov, A. I. (1995). The problems of ekranoplans certification, conception and development of IMO safety requirements. *Proceedings of International Symposium for Twenty-First Century Flying Ships* (pp. 128-147). Sydney: Institute of Marine Engineers (Sydney Branch).
- ^{xlvi} Bogdanov, A. I. (2000). Rules of Classification and Construction of a Type “A” Small Ekranoplans of the Russian Maritime Register of Shipping – a First in the World the Regulatory Document for Civil Ekranoplans. *Proceedings of GEM 2000 International Conference*, (pp.73-80). St. Petersburg, Russia: Marine Technical University and The Institute of Marine Engineers.
- ⁱ International Civil Aviation Organization (ICAO). (1996). *Rules of the air* (13th Ed.) Montreal: Author
- ^{li} Bogdanov, A. I. (1995). *supra* note 47.
- ^{lii} IMO. (2002). *supra* note 24.
- ^{liii} Bogdanov, A. I. (1995). *supra* note 47.
- ^{liv} International Civil Aviation Organization. (1996). *supra* note 50.
- ^{lv} IMO. (2002). *supra* note 24.
- ^{lvi} IMO (2003). *Relations with other organizations: IMO/ICAO cooperation with regard to the development of provisions for WIG craft* (MSC 77/21/1). Paper presented at the Maritime Safety Committee, seventy-seventh session, 20th March 2003, London.
- ^{lvii} IMO (2002) *supra* note 24 at *Article 3* in Preamble.
- ^{lviii} *Ibid.* Article 3.4 of Part A.
- ^{lix} *Ibid.*
- ^{lx} IMO. (2001). *COLREG: Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972, as amended*. London: Author
- ^{lxi} IMO acknowledges WIG craft in amended regulations. (2004, January/February). *Ship and Boat International*, 39.
- ^{lxii} IMO. (2005). *General Principles and Recommendations for Knowledge, Skills and Training for Officers on Wing-In-Ground (WIG) Craft Operating in Both Displacement and Ground Effect Modes* (MSC/Circ.1162). Paper submitted to the Sub-Committee on Standards of Training and Watchkeeping, at its thirty-sixth session, 10 to 14 January 2005, London.
- ^{lxiii} Armstrong, N. A. (1995). On the safety of navigation above the sea. *Proceedings of International Symposium for Twenty-First Century Flying Ships* (pp.119-127). Sydney: The Institute of Marine Engineers (Sydney Branch).
- ^{lxiv} Papakirillou, A., & Papanikolaou, A. (2001, May). Revisions to the High Speed Craft Code. *Motor Ship*, 56-59.
- ^{lxv} Mayer, L. (1996). Navigation & safe operation of very fast craft – The need for a safety case? *In proceedings of Ekranoplans and Very Fast Craft*, (pp.194-212). Sydney: The Institute of Marine Engineers (Sydney Branch).
- ^{lxvi} Bishop, P. G. & Broomfield, R. E. (1995). The SHIP safety case approach. In G. Rabe (ed.), *SafeComp95, Belgirate, Italy 11-13 October 1995*, (pp. 437-451). Munich: Springer
- ^{lxvii} Mayer, L. (1996). *supra* note 65.
- ^{lxviii} Rozhdestvensky, K.V., & Mikhailov, M.A. (1998). *supra* note 47.
- ^{lxix} Mayer, L. (1996). *supra* note 65.
- ^{lxx} IMO. (2002). *supra* note 24.
- ^{lxxi} Halloran, M., & O’Meara, S. (1999). *supra* note 12.
- ^{lxxii} Kornev, N., & Matveev, K. (2003). *supra* note 17.
- ^{lxxiii} Bogdanov, A. I. (1996). Discussions on the operational aspects of WIG craft at the IMO Sub-Committee on Safety of Navigation. *Workshop Proceedings of Ekranoplans & Very Fast Craft, University*

of New South Wales, Sydney, Australia, 5-6 December (pp.213-229). Sydney: Sydney: Institute of Marine Engineers (Sydney Branch).

^{lxxiv} Armstrong, N. A. (1995). *supra* note 63.

^{lxxv} IMO. Maritime Safety Committee, 73rd Session, 2000. (2000). *Resolution MSC.99(73), (adopted on 5 December 2000): Adoption of amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended MSC (73/21/Add.2)*. Resolution adopted at the Maritime safety Committee on the 73rd Session, 12 December 2000, London..

^{lxxvi} IMO. (1997). IMO resolution A.857(20): Guidelines for Vessel Traffic Service. *Assembly resolutions and other decisions (Resolutions 839-873): Twentieth Session, 17-27 November 1997, London* (pp. 117-134). London: Author

^{lxxvii} Dismukes, K., Young, G., & Sumwalt, R. (1998). Cockpit interruptions and distractions: Effective management requires a careful balancing act. *Airline Pilot*, (10), 4-9.

^{lxxviii} Boeing. (2004). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents-World Wide Operations 1959-2004*. Retrieved June 27, 2006 from <http://www.boeing.com/news/techissues/pdf/statsum.pdf>

^{lxxix} UK P&I Club. (1993). *Analysis of major claims*. London: Author

^{lxxx} Rasmussen, J. (1983). Skills, rules and knowledge; signals, signs and symbols and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 13, 257-266.

^{lxxxi} Wahren, E. (1996). *Fast ferry operation and the human factor*. Paper presented at the 12th Fast Ferry International Conference, 20-22 February 1996, Copenhagen.

^{lxxxii} von Thaden, T. (2004). *Developing a Methodology to Study Crew Information Behavior in Aviation*. (Rep. No. AHFD-04-13). Savoy, Illinois: University of Illinois at Urbana –Champaign.

^{lxxxiii} Wahren, E. (1996). *supra* note 81.

^{lxxxiv} Jensen, R. S. (1995). *Pilot Judgment and Crew Resource Management*. Burlington, VT: Ashgate.

^{lxxxv} Wahren, E. (1996). *supra* note 81.

^{lxxxvi} *Ibid.*

^{lxxxvii} IMO. (2004). *Large passenger ship safety: effective voyage planning for large ships: FSA large passenger ships: navigational safety* (NAV/50/11/1). Paper submitted by the Sub-Committee on Safety of Navigation at its 50th session, 30 April 2004.

^{lxxxviii} IMO. (2002). *supra* note 24.

^{lxxxix} Society for Automotive Engineers (SAE). (1996). *Aerospace recommended practice 4761: Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on civil airborne systems and equipment*. Washington, DC: Author

^{xc} IMO. (2002). *supra* note 24.

^{xci} *Ibid.*

^{xcii} Fach, K., Petersen, U., & Reischauer, H. (1999). Classification experience with an 8 seater WIG craft. *Proceedings of Fast 99, Fifth International Conference on Fast Sea Transportation 1999, Seattle, Washington* (pp.339-349). Seattle, Washington: [s.n.]

^{xciii} IMO. (1997). *International Safety Management Code (ISM Code): International management code for safe operation of ships and for pollution prevention*. London: Author