

LNG운반선 전기 추진 계통의 개요

Review of electric propulsion system in LNG Carrier.



문 양 경

Yang-Kyeong Moon

- Senior Manager, Machinery & electrical planning, Project planning team 1 Samsung Heavy Industries Co., Ltd.
- E-mail : bob.yk.moon@samsung.com

1. 서 론

LNG운반선은 현재 한국의 조선 산업에서 부가가치가 높은 주력 상품으로써 한국이 세계 시장을 지배하고 있다. 1990년대 초반까지만 해도 LNG운반선은 일본의 조선소가 독점 하다시피 하였고, 국내 조선소는 건조 기술을 가지고 있지 않았기 때문에 세계 무대에 명함을 내밀지도 못하였다. 그러나 다행스럽게 90년대에 들어서 우리나라에서 필요한 LNG의 운송을 국적선이 담당하게 됨으로써 국내 각 조선소에서도 LNG운반선을 건조할 수 있는 기회가 주어져 LNG 운반선 건조 기술을 쌓게 되었으며, 이 경험을 바탕으로 세계 시장에 진출 하여, 현재는 단연 세계 최고의 건조 기술을 자랑 하게 되었다.

본고는 이 LNG운반선에 사용 되는 전기 추진 시스템의 일반적인 개요를 다루고 자 한다. 먼저 LNG 운반선의 추진 계통에 대한 변천을 살펴보

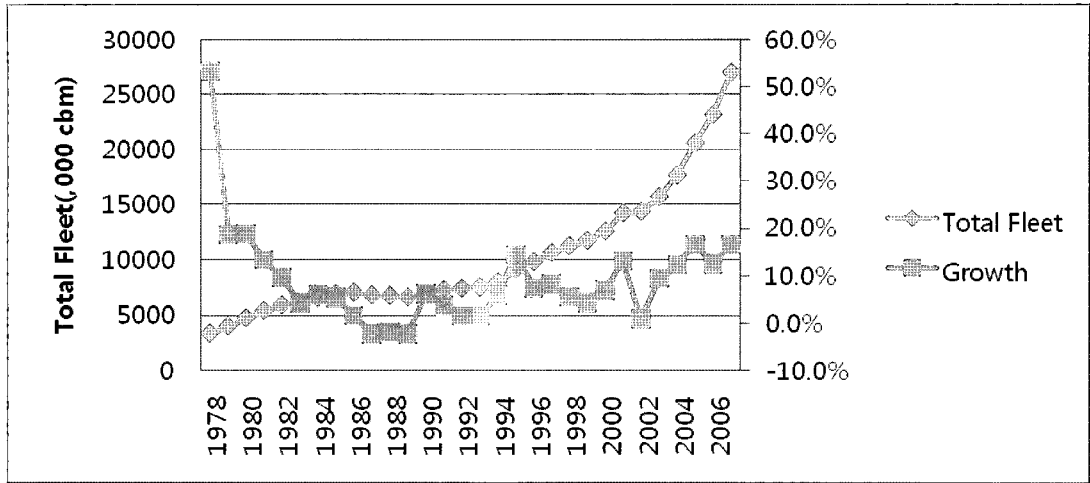
고 구체적으로 전기 추진 시스템의 적용 배경, 구성 그리고 향후 전망에 대해서 살펴보겠다.

2. LNG 운반선 추진 시스템의 변천

과거에 건조된 LNG운반선은 증기 터빈 추진 시스템이 이용되었다. 이것은 LNG운반선에서 필연적으로 발생하는 자연 기화 가스(NATURAL BOIL-OFF GAS)을 이용하기가 용이한 시스템이기도 하지만 1970년대 초반까지도 증기 터빈을 채용한 원유 운반선이 건조된 것을 보면 최초로 LNG운반선이 건조될 당시에는 증기 터빈이 선박의 추진 기관으로 주종을 이루고 있었으며, 이를 운용할 수 있는 기술 인력의 확보가 용이 한데 기인했다고 본다.

그러나 1970년대 초반에 발생한 오일쇼크 이후에 연료절감을 위해 주 추진 기관이 증기 터빈에서 효율이 좋은 디젤 엔진으로 무게 중심이 이동

표 2-1 LNG 운반선 건조량 변화



하면서 증기 터빈을 주 기관으로 채용한 선박에 승선 할 수 있는 선원의 숫자가 자연적으로 감소 하게 된다. 이러한 현상은 90년대 말까지 계속되면서 LNG운반선만이 자연 기화 가스를 연료로 사용할 수 있다는 이점이 있어 지속적으로 주 추진 기관으로 이용 되어 왔다.

그러나 1990년대 중반 이후 LNG의 해상 운송 수요가 급격히 증가 하면서 이를 운반하기 위한

선박의 건조도 급격 하게 늘어나게 되었다(표 2-1). 그러나 이 선박을 운항 하는 선사에서는 증기 추진선이 가지고 있는 낮은 ENERGY 효율과 증기 추진선을 운전 해 본 경험이 있는 선원의 수 급에 많은 애로를 느끼게 되고 증기 터빈을 대체 할 수 있는 추진 계통의 필요성이 대두 되었다.

또한 LNG운반선의 건조량 증가와 더불어 그 크기도 대형화 됨에 따라 이에 필요한 추력도 증

표 2-2 2003~2006 발주 LNG운반선의 추진시스템 현황

Item		December 2006											
		2003		2004			2005			2006			Total
		CST	DFE	CST	DFE	SSD	CST	DFE	SSD	CST	DFE	SSD	
Korea	SHI	9		13	4	2		7	7		5	5	52
	HHI			7	3	2		2	3	1		3	21
	DSME	3		16		4	1	2	8	5	4	3	46
	Hanjin									1	1		2
	Samho				1								1
Out of Korea	Japan	3		15			6			5			29
	IZAR						1						1
	Hudong			2			3						5
	Atlantic		1		1								2
Total		15	1	53	9	8	11	11	18	12	10	11	159

가 하였으나 증기 터빈은 그 용량 증대의 한계에 부딪치게 된다.

이러한 시장 환경에 부응하여 1990년대 말 디젤 엔진 제작 업체인 핀란드의 WARTSILA사에서 가스화 오일을 연료로 사용할 수 있는 DF엔진을 개발하여 시장에 발표하기에 이르렀고, 이는 전기 추진 시스템을 채용한 LNG운반선 개발의 도화선이 되었으며, 최초로 상업용 LNG운반선에 전기 추진 계통이 적용 된 것은 2003년 프랑스의 조선소인 샹피에르 드 아틀란틱 조선소에 프랑스의 GDF사에서 발주한 LNG 운반선의 건조가 이루어지면서 부터이다.

국내에서는 2001년부터 기술적인 검토를 통하여 건조 할 준비가 되어 있었으나 해운 업계의 보수적인 관행으로 인하여 그 발주가 없었으나 2003년부터 본격적인 발주가 이루어지면서 LNG 운반선의 추진 시스템 변경에 주도적인 역할을 하게 된다.

표 2-2는 2003년부터 2006년까지 발주된 LNG 운반선의 추진 시스템에 대한 통계이다. 2003년에는 전세계적으로 총 16척의 LNG운반선이 발주 되었고 그 중 15척은 증기 터빈을 채용 하였으나 한 척 만이 전기 추진 시스템을 채용 하였으나, 2004년과 2005년을 지나면서 그 비율이 점차 증가하여 2006년에는 증기 터빈을 채용한 선박과

전기 추진을 채택한 선박이 발주량에서 동수를 이루게 된다. 참고로 제 3안으로 재액화 장치를 채용하고 일반 저속 디젤 엔진을 채용한 선박의 발주도 이루어 졌으나 이는 특정 한 프로젝트에 국한 되어 있기 때문에 여기서는 다루지 않겠다.

표 2-2에 따라 동기간 동안의 발주 추이를 보면 증기 추진선은 2004년을 정점으로 하여 그 수가 급격히 줄어들고 있고, 표에는 표현이 되어 있지 않지만 선박의 크기도 최대 170K CBM정도까지의 제약이 있다. 이에 반하여 2004년을 기점으로 하여 전기 추진 시스템의 채용빈도가 꾸준히 증가하고 있는 추세이며 적용 할 수 있는 크기도 제한이 없다.

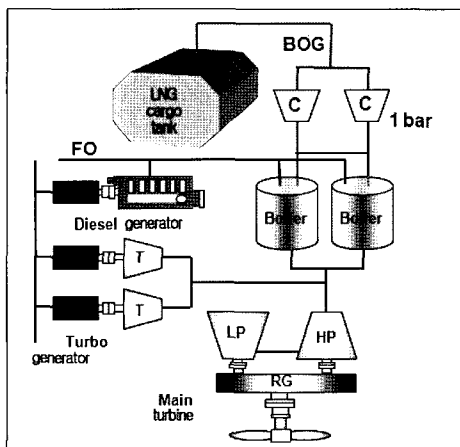
그렇다면 LNG운반선의 추진 시스템으로 현재 시장에 적용 되고 있는 시스템에 대해서 간단히 살펴보기로 하자.

현재까지 현실화 된 LNG 운반선 추진 시스템을 보면 아래와 같이 3종류가 있다

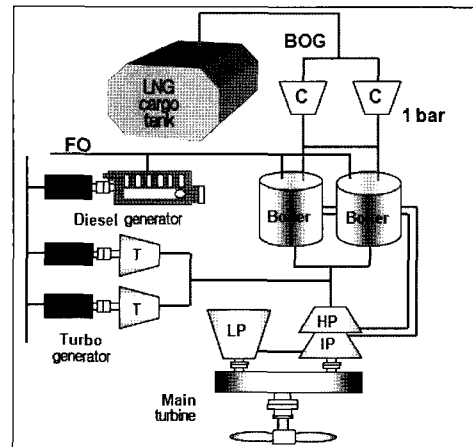
- 증기 추진 시스템
- DF 엔진을 이용한 전기 추진 시스템
- 기존의 저속 디젤 엔진과 재액화 설비를 채용한 추진 시스템

a) 증기 추진 시스템

그림 2-1(a)는 종래에 적용 되어 오던 증기 추



(a) 기존 증기 추진 시스템



(b) ULTRA 증기 추진 시스템

그림 2-1 증기 추진 시스템

진 시스템을 보여 주고 있다

이 시스템은 크게 주 보일러와 증기 터빈으로 이루어져 있고 약 30%의 ENERGY 효율을 가지고 있으며, 이와는 별도로 선내 전력 공급을 위한 디젤 엔진과 증기 터빈으로 이루어진 총 10MW 용량의 발전 설비를 갖추어야 한다.

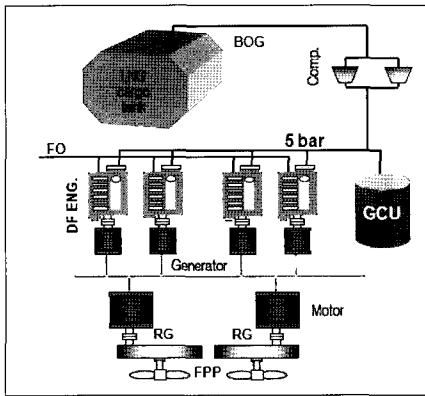
이 추진 시스템은 일본의 업체에서만 공급이 가능하였다. 따라서 증기 추진 방식의 채택을 감소에 따라 전기 추진 시스템과의 경쟁을 위해 효율을 약 34%로 향상 시킨 ULTRA 증기 추진 시스템(그림 2-1(b))을 개발하여 시장을 되 찾으려는 노력을 하고 있으나 아직 그 적용 실적은 없다.

b) 전기 추진 시스템

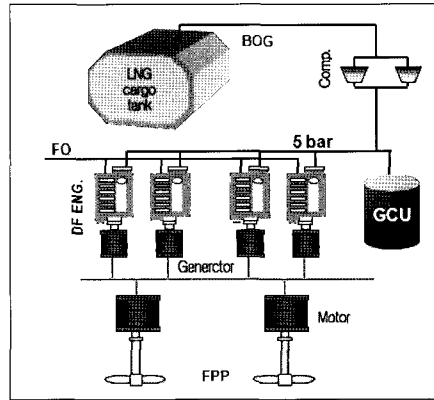
그림 2-2는 전기 추진 시스템의 계통을 보여 주고 있다.

그림 2-2 (a)는 현재 적용 되고 있는 전기 추진 시스템으로 중속(675 RPM)의 전동기를 GEAR BOX에 연결하여 원하는 추력을 얻는 구조이고 (b)는 저속(80~100 RPM)의 전동기를 프로펠러와 직접 연결하여 추력을 얻는 구조이다. 중속 전동기를 이용하는 방식이 경제적인 측면에서 유리하기 때문에 현재 LNG운반선에 주로 적용되는 계통이다.

전기 추진 시스템은 약 41~43%의 효율을 달성 할 수 있기 때문에 증기 추진 시스템 대비 효율

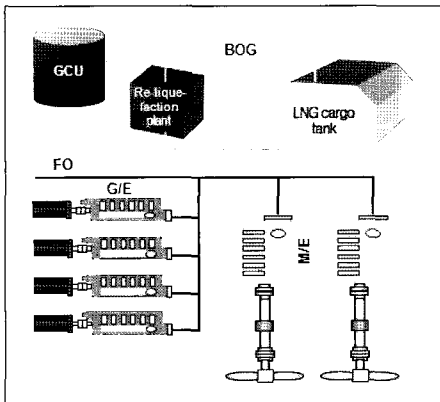


(a) 중속 전동기 방식

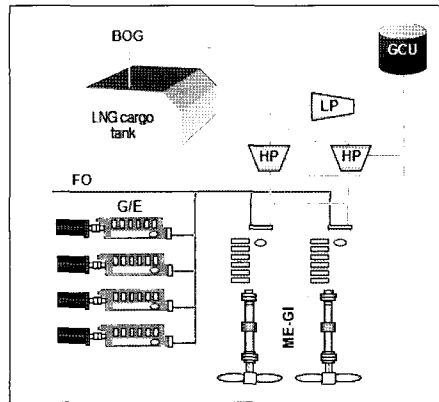


(b) 저속 전동기 방식

그림 2-2 전기 추진 시스템 계통



(a) 저속 디젤 엔진 방식



(b) 저속-GI 엔진 방식

그림 2-3 저속 디젤 엔진 추진 시스템

이 높고 추진 시스템용 발전 설비 하나로 CARGO HANDLING 등의 운전에도 이용 할 수 있기 때문에 장비의 효율적인 활용 측면에서 이점이 있다.

c) 저속 디젤 엔진 추진 시스템

그림 2-3은 저속 디젤 엔진은 추진 시스템을 채용한 경우를 보여 주는 것으로, (a)는 일반적인 디젤 엔진과 재액화 설비를 함께 장착한 경우이고 현재 특정 프로젝트에 국한 적용 되고 있다.

그림 2-3(b)는 현재 새로이 소개된 방식으로 기존의 저속 디젤 엔진을 가스와 오일을 연료로 사용 할 수 있도록 개조하여 추진기로 이용하는 시스템으로 현재 적용을 위한 검토가 진행 중인 방안 이다.

저속 디젤 엔진 추진 시스템은 그 자체로만 보면 약 47%의 효율을 자랑하나, 이와는 별도로 재액화 설비나 기타 보조 기기들을 운전하기 위한 별도의 발전 설비를 갖추어야 한다.

3. 전기 추진 시스템의 채용 배경

앞서 설명한 바와 같이 여러 가지 시장 상황이 전기 추진 계통을 현실화를 가능케 하였다면, 이제 그 전기 추진 시스템의 구성에 대해서 알아보기로 하자.

우선 LNG선박에 전기추진 시스템의 상용화는 프랑스의 샹피에르 드'아틀란틱 조선소에서 GDF 향 LNC 신조를 통하여 이루어 졌다는 것은 이미 언급 하였다. 이에 앞서 여러 해 동안 LNG선박에 대한 전기 추진 시스템의 실용화를 앞두고 각 조선소에서도 많은 연구와 검토가 진행 되었다. 이러한 흐름은 DF엔진이 가스와 오일을 연료로 사용 가능하게 됨과 동시에 증기 시스템과 비교하여 효율이 뛰어나다는 이유가 모티브를 제공하였기 때문이다.

증기 추진에서 전기 추진으로의 시스템 변화가 가져다 준 가장 큰 변화는 효율의 향상이다. 이는 연료소모량의 획기적인 감소와 그에 따른 연료비

절감을 가져온다. 일반적인 140K LNG선박의 경우 효율 증가에 따라 약 38%의 연료 절감이 가능하다.

또한 향상된 효율 이외에도 전기 추진 시스템은 아래와 같은 장점들을 제공 하고 있다.

- 상대적으로 적은 설치 전력: 하나의 발전시스템 개념으로써 선내 발전기가 추진과 CARGO HANDLING 모두 담당하게 된다.
- 보다 많은 화물적재: 전기 추진 시스템은 장비의 크기가 작아 기관실 공간을 줄일 수 있고 장비의 크기가 경박단소 하기 때문에 증기 추진을 채용한 선박 대비 장비의 배치가 유연하여 동일 크기의 선박에서 화물창의 크기를 증대 시킬 수 있다.
- 향상된 조정성과 제동능력: DRIVE SYSTEM은 추진전동기에 있어 출력, RPM, 토크를 유연하게 조작 할 수 있어 향상된 조정성과 제동능력을 제공 한다.
- LOW RPM 에서의 탁월한 TORQUE 성능 및 빠른 응답 성능으로 ICE CLASS 등 극지방 운항을 목적으로 하는 선박에 최적 추진 시스템이다.

그러면 우선 전기 추진 시스템의 기술적인 채용 배경에 대해서 잠깐 알아 보도록 한다. 일반적으로 오일을 운반 하는데 사용되는 탱크들과 달리 LNG운반선은 근본적으로 상온에서는 가스 상태인 천연 가스를 액화하여 운반을 한다. 따라서 천연가스를 액화상태로 운반하는데 온도가 -162도 이하이기 때문에 화물창은 단열재로 마감이 되어 외부의 열전도를 최소화 시키는 구조로 설계 되어 있다. 그러나 현재의 상용화된 기술로는 열전도를 100% 차단 한다는 것이 불가능하기 때문에 화물창 내에 자연 기화 되는 가스(NBOG)가 발생하며 기존에는 이 가스를 보일러에서 태워 고압의 증기를 발생시켜 추진에 이용한다. 그런데 일반적으로 항해 중 자연 발생하는 기화 가스양은 외부 온도에 따라 변화하게 되나 기본적으로 추진에 필요한 에너지를 얻기에는 충분한 양이 되지 않는

다. 따라서 HFO나 DO가 추가적으로 연료로 사용되고 있다.

따라서 가스와 오일을 모두 사용할 수 있도록 WARTSILA에서 개발한 DF엔진의 출현으로 전기추진 시스템은 효율의 향상, 화물용량의 증가, 운항비용 감소 등의 장점으로 매력적인 대체 추진 시스템이 되었다. 물론 DF 엔진에도 취약점은 있다. BOILER는 일반적으로 가스와 오일을 동시에 연료로 사용할 수 있다. 이는 발생하는 자연가스의 양에 따라 추가적으로 오일(H.F.O. 또는 D.O)을 보일러에서 연소시켜 요구되는 증기를 만들어 내면 된다. 또한 선박의 소요량에 비해 과도한 NBOG가 발생하여도 증기를 추가로 생산하여 응축을 시켜 다시 보일러로 보내는 사이클을 통해서 흡수 할 수 있다. 그렇지만 DF 엔진은 한번에 한가지의 연료만 사용할 수 있어 선박의 부하의 변화에 따라 선박에 설치된 발전기의 연료를 변경해야 하는 번거로움이 생길 수 있으며 보조적으로 DF 엔진에서 수용 할 수 있는 가스보다 많은 가스가 발생 할 경우를 대비 이 가스를 태워서 소비할 수 있는 GAS COMBUSTION UNIT(이하 GCU)을 설비해야 하는 단점이 있다.

또한 전기 추진 시스템의 선택에 있어서 또 다른 필수적인 요건은 유용성과 신뢰성이다. LNG 선박은 정해진 스케줄에 따라 장기 용선되고 있으며 정해진 스케줄을 맞추지 못하는 경우에는 고액의 배상금을 지불해야 한다. 증기 추진 시스템은 과거의 많은 실적을 통해 매우 유용성이 뛰어난 것이 증명되었으며 만일 다른 대체시스템을 고려한다면 최소한 증기 추진 시스템수준의 유용성과 신뢰성을 만족해야 한다. 이에 전기추진 시스템은 두 대의 대형 모터와 4대의 발전기 그리고 분리된 배전반을 채용함으로써 증기 추진 시스템 대비 보다 향상된 신뢰성과 유용성을 확보 하였다.

그렇다면 전기 추진 시스템이 적용되기 까지 LNG 운반선의 전기 계통의 변화에 대해서 잠깐 살펴보겠다. 타 선박과 동일하게 LNG운반선도

1990년대 말까지 138K CBM급 LNGC에는 약 10MW급의 발전 설비가 필요하나 AC 440V를 적용 하고 있었다. 주된 이유는 CARGO PUMP가 440V용이 유일하게 상품화 되어 있었기 때문이다. 하지만 2000년대에 들어서면서 화물처리를 위한 전력시스템이 440V 시스템에서 3.3KV나 6.6KV로 변화해 왔으며 이는 선박의 크기가 증가함에 따른 CARGO PUMP 용량 증가에 따른 필요 전력의 증가에 기인한 것이다. 따라서 전기 추진 시스템이 적용 되면서부터는 6.6KV가 주로 적용 되고 있기 때문에 전기추진 선박에서는 추진을 위해 이미 설치된 전력을 CARGO HANDLING에도 동시에 활용하게 됨으로써 LNG선박에 있어 획기적인 시스템을 구성하게 된다. 아울러 향후 관련 보기의 발전 상황에 따라 11KV 시스템의 적용도 멀지 않은 장래에 이루어 질것으로 본다.

4. 전기 추진 시스템의 구성

전기 추진 시스템은 기본적으로 아래에 나열된 장비로 구성 되어 있다.

- 발전기
- 배전반
- DRIVE SYSTEM(변압기 & FREQUENCY CONVERTER)
- 추진 전동기

하지만 선박의 특성에 따라 그 구성은 다양해질 수 있다. LNG운반선에는 추진 전동기로 675RPM의 속도를 갖는 중속 전동기와 GEARBOX를 조합한 형태를 주로 사용 하고 있다. 이는 경제적인 이유에 주로 기인하고 있다.

현재는 일반적으로 4대의 발전기와, NO.1/2로 분리된 배전반, 그리고 2대의 추진 전동기를 하나의 REDUCTION GEAR를 통해서 프로펠러 샤프트에 연결 하는 구조를 가지고 있으며, 현재 건조 되고 있는 LNG운반선에는 주로 이 방식을 이용하고 있다.

아래의 그림들은 LNG 운반선에 전기 추진 시

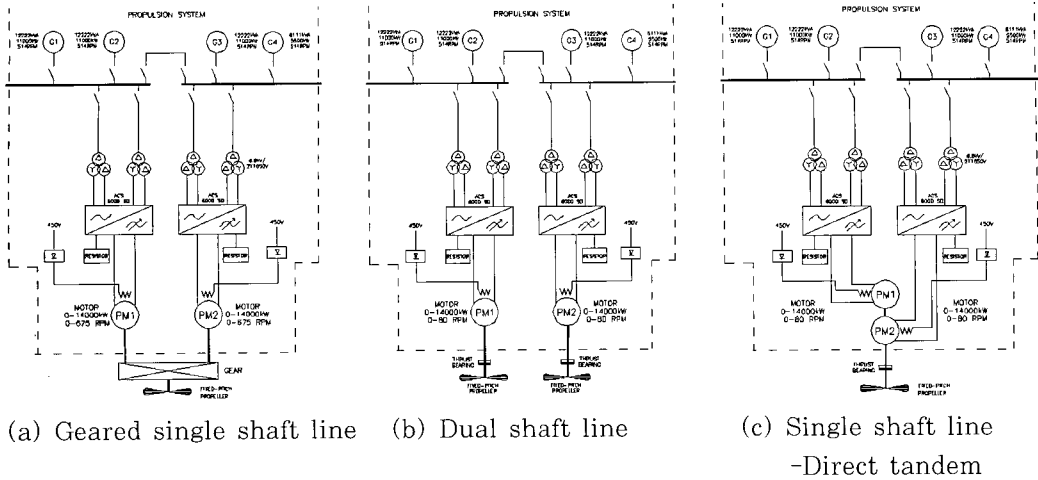


그림 4-1 전기 추진 시스템 구성 예

시스템으로 적용이 가능한 구성으로 현재는 GEARED SINGLE SHAFT LINE이 주로 적용되고 있으나 선박의 크기에 따라서는 GEARED DUAL SHAFT LINE을 적용도 가능하며, 그 외에 경제적으로 경쟁력은 떨어지지만, 그림 4-1(b)와 (c)처럼 DIRECT DRIVEN 전동기를 적용한 SOLUTION도 있다.

그림 4-1(a)는 현재 가장 보편적으로 LNG 운반선의 전기 추진 시스템으로 장착되고 있는 시스템을 보여 주고 있다. 그림 4-1(b)는 추진 전동기와 샤프트를 직접 연결 할 수 있도록 저속 (80~100RPM)의 전동기를 이용한 시스템이다. 이 그림은 쌍축선용 추진 시스템으로 이 시스템은 GEARBOX가 필요 없기 때문에 여기서 발생하는 손실을 줄일 수 있고 유지 보수에 유리한 이점이 있으나, THRUST BEARING을 별도로 설치해야 하고, 결정적으로 초기 투자비가 높다는 단점이 있다. 또한 추진 전동기의 부피와 중량이 중속 전동기에 비해 과도하게 크기 때문에 기관실 배치에 어려움이 따를 수도 있다.

그림 4-2(c)는 그림4-2(b)와 동일하게 저속 전동기를 이용한 방식이나 쌍축이 아닌 단축에 적용하는 방식으로 전동기를 앞뒤로 배치하고 그 축을 프로펠러 샤프트에 바로 연결하는 방식이다.

4-1 발전 설비

전기추진 시스템이 설치된 모든 선박에 있어서 발전 설비는 필수적이다. 발전 시스템은 여러 대의 발전기와 이를 구동하는 DF 엔진으로 구성된다. 현재는 추진 POWER가 25~30MW이기 때문에 본선에서 기본적으로 필요로 하는 BASE LOAD를 포함 전체 발전 설비의 용량은 약 33~38MW가 된다. 일반적으로 발전기의 수량은 4대 정도 인데 이는 현재 건조 중인 LNG 운반선의 크기가 145k~170K CBM급이기 때문이다.

또한 최근에 MAN B&W에서 DF 엔진을 개발하기는 하였으나 아직 적극적으로 수용 할 수 있는 단계에 도달 하지 않은 상태이고 현재 대부분이 WARTSILA의 DF 엔진을 기초로 설계 되고 있다. 따라서 본선에서 필요로 하는 총 전력량이 정해지면 이 값에 따라 운전모드, 시스템의 유연성, 비상시를 대비한 예비전력 등의 조건들과 장비 가격 등을 고려하여 발전기의 조합이 결정되며, 발전기의 대수와 전력은 엔진의 경제적인 연료소모, 운항특성 그리고 Service Factor를 고려하여 다양한 운항 상태에서 운전되는 동안 이상적인 유연성을 가질 수 있도록 최적화 되어야 한다. 일반적으로 2 X 11MW + 2 X 5.5MW나 또는 3 X 11MW + 1 X 5.5MW의 조합으로 이루어진다. 또한 항구에 정박 시 낮은 부하에서 운전도

고려하여 5.5MW 정도의 발전기를 최소 한대 정도는 배치하는 것이 바람직하다.

발전 설비의 전압은 앞서 언급한 바와 같이 통상 6.6kV를 적용하고 있다. 이는 통상적으로 FREQUENCY CONVERTER를 적용한 APPLICATION이 3.3kV이하 임에도 불구하고 장비의 부하전류와 단락치가 장비의 기술적 한계치를 초과하지 않고 유지될 수 있도록 선택되어야 하며 전체 설치전력도 역시 최적화 되도록 해야 하기 때문에 설치전력이 8~10MW를 초과하는 경우는 설비이상이나 손상 등에 대비하여 높은 안전성을 제공하는 고압 배전반이 기술적으로나 경제적으로 최적의 선택이다. 앞서 언급 하였듯이 선박의 대형화와 더불어 전체전력이 증가되고 있는 추세로 6.6KV가 대세를 이루고 있으나 CARGO PUMP등 LNG 운반선에 특화 되어 있는 장비의 개발이 이루어 진다면 발전 설비의 전압도 11KV와 같은 고압으로 증가하게 될 것이다.

4-2 배전반

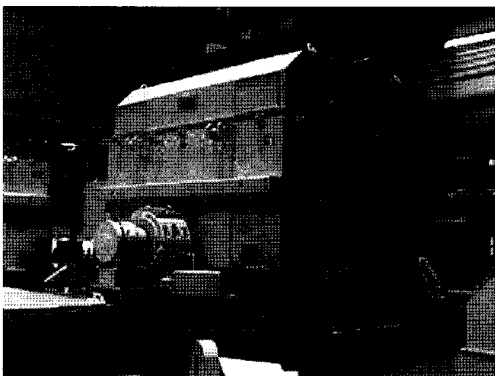
전기 추진 시스템의 배전반은 일반적인 HV 배전반과 큰 차이가 없기 때문에 자세한 설명은 하지 않겠다. 단 구조상 그림 4-1에서 보여 주는 것과 같이 No.1과 No.2로 배전반을 분리하였고 기관실에 각각의 독립적인 공간에 설치 되기 때문에 배전반에 이상이 생기거나 화재 등으로 인해 한쪽 배전반에 손상이 있어도 나머지 한쪽으로 선박

의 운항은 계속 할 수 있는 구조이다.

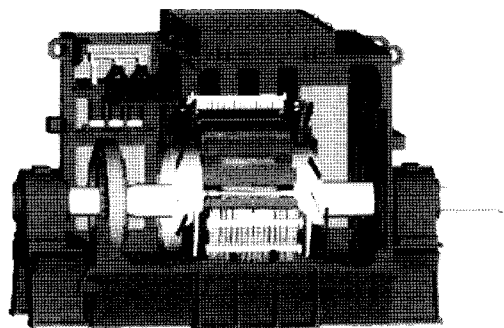
4-3 추진용 변압기 및 FREQUENCY CONVERTER

FREQUENCY CONVERTER는 추진 전동기의 RPM을 조정하는 역할을 하는 장비로, 전기 추진 시스템에서 상대적으로 그 중요성이 높다 하겠다. 이 FREQUENCY CONVERTER는 여러 가지 방식이 있으나 주로 사용 되고 있는 방식은 SYNCHROCONVERTER와 PWM CONVERTER가 있으며, 현재는 PWM CONVERTER가 주류를 이루고 있다.

전기 추진 시스템 설계에 있어서 가장 중요하게 고려 해야 하는 사항 중에 하나가 고조파 문제인데 FREQUENCY CONVERTER가 고조파를 일으키는 근본적인 장치이다. 따라서 추진용 변압기와 FREQUENCY CONVERTER를 포함하는 DRIVE SYSTEM을 정확하게 설계함으로써 고조파의 정도를 각 선급에서 제시하는 한계치 이내로 제한 할 수 있다. 이 고조파를 줄이는 방법으로는 FILTER를 설치하는 방법과 추진용 변압기로 PHASE SHIFT을 하여 DRIVE SYSTEM의 펄스를 높이는 방법 등이 있으나 현재 가장 효과적이고 신뢰할 수 있는 방법으로는 DRIVE SYSTEM의 펄스를 수를 높이는 것이다. 20MW 급 이상의 추진전력을 필요로 하는 LNG선박에 있어서 이 방법은 최소의 비용으로 적용할 수 있는 것으로 알려져 있으며, 12 또는 24펄스에서 고조파



a) 전기 추진 전동기 실사



b) 전기 추진 전동기 내부 ILLUSTRATION.

그림 4-2 전지추진용 전동기

진폭치를 최소화 할 수 있는 것으로 알려져 있다.

추진용 변압기는 12 또는 24펄스로 효과 있게 하기 위해서는 추진용 변압기에 3상 추진변압기를 사용하여 FREQUENCY CONVERTER로 유기되는 전류의 PHASE를 SHIFT하는 역할과 아울러 발전 설비에서 생산되는 전력과 전압과 추진 전동기에서 요구되는 전압을 일치 시키는 역할을 하게 된다. 현재 사용되는 DRIVE SYSTEM은 일반적으로 24 펄스 시스템을 사용 하고 있으며, 추진 전동기의 용량에 따라 12 펄스 시스템과 배전반의 운영 조건을 설정함으로써 선급에서 규정하는 최대 허용 고조파 수준을 만족 시킬 수 있다

4-4 추진용 전동기

추진용 전동기는 동기 전동기가 주로 사용 되어 왔으나, 최근 일부 업체에서 유도 전동기와 PWM 방식의 FREQUENCY CONVERTER를 이용한 방식도 제안을 하고 있다.

그림 4-2는 추진용 전동기의 실물 사진이고 이런 대형 전동기는 일반적으로 냉각시스템으로 수냉식을 채용 하고 있다. 전동기는 대형이라는 점 말고는 다른 일반 전동기와는 큰 차이가 없어 설명은 생략하기로 한다.

5. 전기 추진 시스템의 효율

전기추진 시스템의 개념은 새로운 것이 아니며, 이미 100년 전에 고안된 것이다. 전기모터 제어에 대한 기술력, 다양한 출력 범위에서의 속도제어, Compact한 크기, 신뢰성 그리고 경쟁력 있는 제품 가격 등으로 인하여 전기추진 시스템은 80~90년대에 이르러 새로운 선박 부문에 적용하게 되었다.

필자가 근무하고 있는 조선소도 1990년대 초반 부터 SHUTTLE TANKER, DRILL SHIP 및 FDS등 다양한 특수선박을 건조하면서 전기 추진 시스템에 대한 기술력을 쌓아왔다. 물론 고객의 요구에 따른 것이지만 실제 설계나 운전과정을 보면 전기 추진 시스템은 매우 신뢰성이 높고 선박의 COMPACT한 DESIGN을 할 수 있도록 해준다. 하지만 여객선과 같이 저 진동 저소음이 아주

중요하거나, SHUTTLE TANKER 또는 DRILL SHIP처럼 HARSH CONDITION에서 위치 유지 기능이 필요한 경우를 제외하면 전기 추진 시스템은 경제적으로 아직까지는 채용하기에는 초기 투자비가 높다. 하지만 LNG와 같이 연료를 본선에서 조달할 수 있거나 기본적으로 선박의 목적상 대용량의 발전 설비가 필요한 선박에서는 이의 적용을 검토 해보는 것이 바람직하다.

앞서 이야기 하였듯이 LNG운반선에서 전기 추진 시스템을 채용하게 된 이유 중에 하나가 높은 효율에 기인 한다고 언급 하였다. 그러면 추진 효율에 대해서 살펴보기로 한다.

중래의 보일러, 증기 터빈 그리고 기어로 구성된 증기 추진 시스템에서 확인된 효율은 일반적으로 약 30% 이하이다. 그러나 DF엔진의 정격부하 상태에서 확인된 효율은 일반적으로 약 47% 이다. 그리고 전기 추진 시스템을 구성하는 발전기, 변압기, FREQUENCY CONVERTER및 추진 전동기 등을 거치는 과정에서의 전달손실 8~10%를 포함하여 프로펠러 샤프트 출력까지 감안하면 최종적으로 효율은 약 43%이다. MANEUVRING이나 수에즈 운하등과 같이 속도제한 영역에서의 운항 등과 같이 저 부하를 투입할 경우에는 증기 추진과 전기 추진간의 효율이 더욱 차이가 난다. 이것은 발전 시스템을 구성하고 있는 여러 대의 발전기를 LOAD의 변화에 따라 유연하게 운전하는 숫자를 조절하면 되기 때문에 각 운전 조건에서 최대의 효율을 끌어 낼 수 있다.

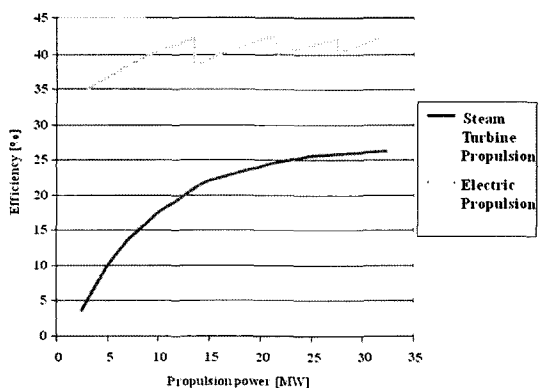


그림 5-1 전기 추진 시스템과 STEAM 추진 시스템의 효율 비교

그림5-1은 4대의 발전기로 구성된 전기 추진 시스템과 증기 추진 시스템의 LOAD에 따른 효율 변화를 차이점을 극명하게 보여 주고 있다. 저 부하로 갈수록 그 효율의 차이는 많이 벌어진다.

그러면 전기 추진 시스템의 효율에 대해서 살펴 보도록 하자. 아래의 표는 현재 일반적으로 적용 되는 대표적인 두 업체의 효율이다.

표 5-1 전기 추진 시스템의 효율

장비	A 사	B 사
GEAR*	98.5%	98.5%
전동기	98.0%	98.0%
FREQUENCY CONVERTER	98.5%	98.5%
변압기	99.0%	98.6%
발전기	97.0%	97.0%
DF 엔진	47.0%	47.0%
TOTAL (Overall)	42.9%	42.6%

* : GEAR 전문 업체의 효율임.

표에서 보여주는 효율은 각 업체에서 평균적인 값을 보여 주는 것으로 이 값과 더불어 각각의 장비에 부가하여 설치되는 보조 장비(예: 냉각 팬)의 구성에 따라 그 손실이 가감된다.

아래의 그림 5-2를 보면 에너지 전달 축 선상에서 그 손실을 쉬게 이해 할 수 있다.

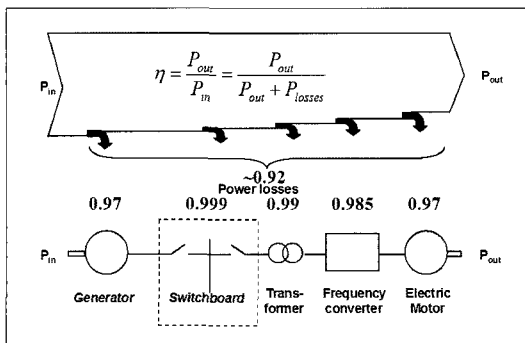


그림 5-2 전기 추진 시스템의 에너지 손실

그림이 보여 주듯 발전기에서 프로펠러에서 에

너지가 전달되는 과정에서 각 단계마다 에너지 손실이 발생하게 된다. 이 손실이 적으면 적을수록 그 시스템의 효율은 향상 된다. 따라서 위 표5-1에서 보여 주듯 구성하는 각각의 장비 효율이 추진 시스템 전체의 전체에 영향을 주고 있기 때문에 최적의 효율을 갖는 시스템을 구성하기 위해서는 공급이 가능한 업체의 각 구성품에 대한 효율을 설계 시 고려해야 한다.

이에 부가하여 전통적인 증기 추진 시스템을 채용한 LNG 운반선은 CARGO HANDLING를 위하여 3~4대의 발전기가 설치된다. 전체적인 용량은 약 10~12MW의 전력이 되며 이 전력은 선박이 항해에 기본적으로 필요한 전력도 공급하지만 주로 선박에 장비 되어 있는 CARGO PUMP를 이용하여 운송해온 LNG를 육상의 LNG 저장 기지에 있는 저장 TANK로 보내기 위하여 화물 터미널에 있는 동안만 필요한 전력을 공급한다. 하지만 전기 추진 시스템을 사용하는 선박에 있어서는 설비된 발전설비(약 33MW)를 선박추진에도 이용하고 CARGO HANDLING에도 이용할 수 있기 때문에 전기 추진의 경우 전체 설치전력이 상대적으로 줄어들 수 있다는 사실이다. 예를 들어 추진에 26MW가 필요하고 CARGO HANDLING에 10MW의 전력이 필요하다면 LNG선박의 경우 종래의 증기터빈을 채택한 선박은 추진 설비까지 전력으로 환산하면 약 39MW가 필요하게 되나 전기 추진의 경우 발전설비의 규모는 추진전력이 26MW이고 HOTEL LOAD를 2000KW정도로 감안할 때 전체 설치전력은 8%의 전기적 손실과 10%에 엔진의 기계적 손실을 고려하면 전체 설치전력이 33MW정도가 되므로 증기 추진과 비교하면 15%정도의 설치전력을 줄일 수 있다는 사실이다.

6. 전기 추진 시스템의 추진 특성

전기 추진 시스템에서 추진용 전동기가 추진력을 만들어 낸다. 이 전동기는 전통적으로 동기 전동기를 이용하였으나 최근에 유도 전동기를 추진 전동기로 제안하는 회사도 있다.

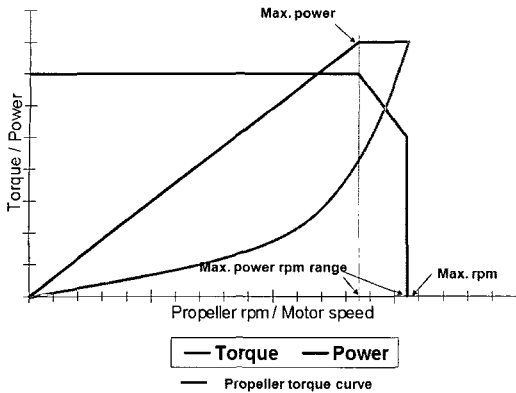


그림 6-1 전동기의 TORQUE/POWER와 rpm과의 상관관계

그림 6-1은 추진용 전동기의 TORQUE 및 POWER와 RPM과의 상관관계를 보여 주고 있다. 그림과 같이 전동기는 매우 저속에서도 높은 TORQUE를 발생 시킬 수 있기 때문에 디젤 엔진이나 증기 터빈의 기계적 토크의 한계와 비교하면 대단히 우수한 특성을 가지고 있다. 기본적으로 FREQUENCY CONVERTER에 의해 속도를 제어하는 추진용 전동기는 RPM을 0에서부터 최고 RPM까지 최대 토크를 갖고, RPM도 전동기 자체만 보면 양방향으로 추진 전동기의 최대 RPM까지 제어 할 수 있다. 즉 디젤 엔진과 같은 원동기 자체의 기계적인 한계는 존재 하지 않는 것이다. 이는 FREQUENCY CONVERTER가 TORQUE, RPM 및 POWER의 증감을 제어함으로써 기계적인 시스템을 보호할 수 있도록 설계 되어있기 때문이다. 이러한 특성은 급제동 능력 (CRASH STOPPING ABILITY)과 운전성능에 있어서 어떤 RPM에서도 프로펠러를 회전 시킬 수 있을 정도로 정 방향 및 역 방향으로 최대 토크를 줄 수 있기 때문에 RPM의 빠르게 변화시킬 수 있다는 사실이 높이 평가되고 있는 것이다. 또한 급제동 상황에서 RPM을 낮추면서 추진 전동기에서 발생하는 역기전력을 빠르게 흡수하여 제동 능력을 향상시킴으로써 기존의 증기 터빈 추진보다는 RPM방향을 보다 빠르게 변화시킬 수 있게 되었다.

7. 전기 추진 시스템의 배치

전기 추진 시스템은 장비들은 증기 추진 시스템에서 필요로 하는 장비에 비해 그 크기가 작고 배치에 있어서 증기 추진 시스템에 비해 상대적으로 제약이 작기 때문에 보다 유연하게 위치 선정을 할 수 있다.

보일러와 증기 터빈의 대체 시스템으로서 전기 추진은 발전기, 변압기, FREQUENCY CONVERTER 및 추진 전동기로 구성된다. 이 장비들의 상호간에 전선을 이용하여 연결되기 때문에 GEAR BOX를 통해 프로펠러 샤프트에 연결 되어야 하는 추진 전동기를 제외하고는 기관실 내에 자유롭게 배치할 수 있다. 따라서 기관실의 크기가 증기 추진 선박보다 작게 배치 할 수 있기 때문에 약간의 제약은 있지만 보다 짧은 선박이나 같은 길이의 선박인 경우 화물창의 용적을 증가시킬 수 있다.

8. 전기 추진 시스템의 신뢰성

LNG 선박의 주요 임무는 정해진 시간 내에 해당 터미널로 LNG를 공급하는 것이다. 터미널에 제한된 저장용량으로 인해 전체 LNG 공급 시스템은 LNG 선박들에 의해 정해진 일정에 따라 공급하는 것을 전제로 하여 설계된다. 또한 선박들은 LNG의 안정적이고 신뢰성 있는 공급을 위해 보통 20~30년 동안 용선계약을 한다. 따라서 정해진 일정에 따라 선박이 터미널에 도착하지 못한다면 많은 문제를 야기 할 것이다. 전통적인 증기 추진 시스템의 대안으로 전기 추진 시스템이 도입되면서 동등하거나 더 높은 신뢰성을 확보해야만 했다.

그림 8-1은 일반적인 추진 시스템과 관련하여 선급에서 요구하는 규정에 따른 전기 추진 시스템의 구성을 보여주고 있다.

이 분류는 미국 선급 협회의 요구 사항에 따른 것으로 타 선급도 이와 유사한 규정을 가지고 있다.

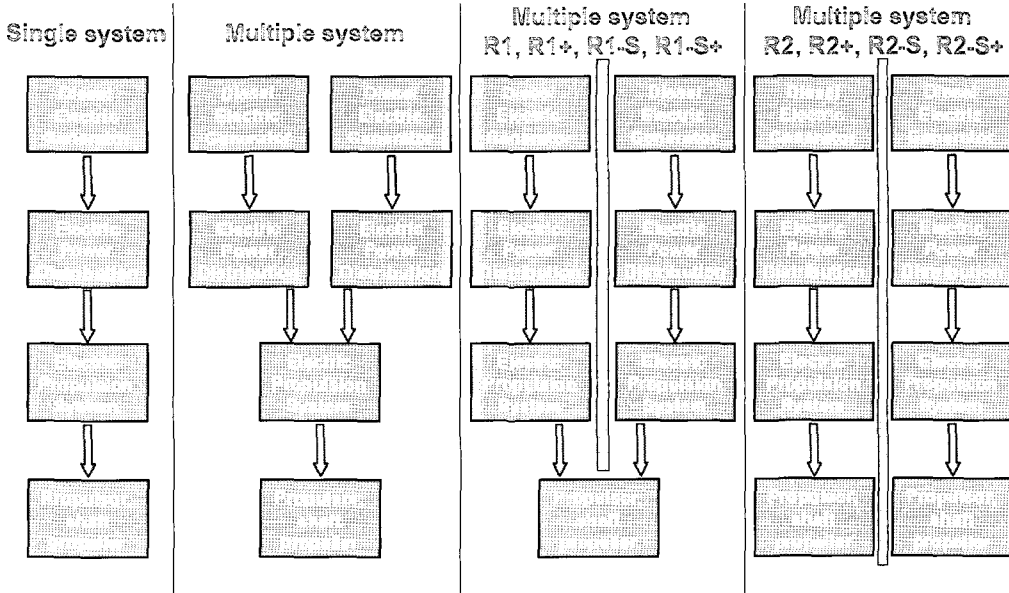


그림 8-1 선급의 요구에 따른 전기 추진 시스템의 구성

기존의 추진 시스템에서는 디젤 엔진이나 주 보일러에 이상이 발생하면 선박은 거의 모든 추진력을 잃게 된다. 하지만 전기 추진 시스템은 그림 8-1에서 보여주듯 복수의 발전기와 복수의 추진전동기로 다양하게 구성이 가능하기 때문에 기존의 추진 시스템보다는 그 신뢰성이 우수하다 할 수 있다. 또한 FREQUENCY CONVERTER, 변압기, 추진모터 시스템이 각각 독립적으로 분리되어 두 그룹, 그리고 독립된 2대의 배전반 시스템으로 구성되어 있어 한 장비가 손상 될 경우에도 최소한 50%의 추진 전력을 확보할 수 있게 된 것이다. 따라서 50%의 전력 손실이 있음에도 불구하고 프로펠러의 특성곡선에 따라 선박에 속도는 그림 8-2에서 보여준 것과 같이 단지 몇 KNOTS 정도 감소에 그친다.

전기 추진 시스템에 대한 신뢰성은 LNG운반선이 아닌 전기 추진 시스템을 설비한 다른 종류의 선박에서 얻어진 운항 경험을 바탕으로 각 장비업체에서 작성한 MTBF(Mean Time Between Failures, 결함들 사이에 평균시간)과 MTTR (Mean Time To Repair, 수리를 위한 평균시간)은 표 8-1과 같으며 이를 기반으로 신뢰성 검

토가 이루어 졌다.

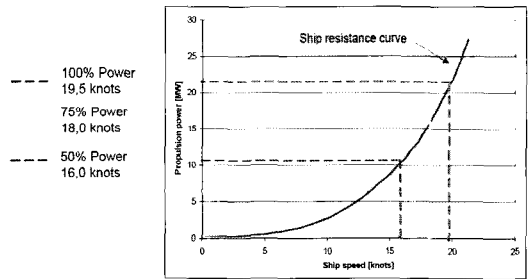


그림 8-2 추진력과 선박의 속도와 상관 관계

표 8-1 전기 추진 장비의 MTBF와 MTTR

Equipment	MTBF (YEARS)	MTTR (Hours)
발전기	11.8	5.4
배전반	215	20
Drive Systems	4.2	2.5
전동기s	100	40

표 8-1의 MBTF와 MTTR에 의거 산출된 전기 추진 시스템의 연간 신뢰성 지수는 아래 표 8-2와 같다.

표 8-2. 각 장비의 연간 신뢰성 지수

현상	신뢰성	년간 예상 고장 시간
< 100% 추진력	99.941 %	5.4 시간
< 75% 추진력	99.989 %	1.0 시간
< 50% 추진력	99.999 %	0.0 시간

위 표 8-2는 예비 발전기가 없다는 기초에서 산출된 것으로 전기 추진 시스템에서 전기장비의 결합으로 인하여 완전한 추진력 손실의 가능성은 거의 없다는 것을 말해주고 있으며, 보통 선박의 속도를 70%~80%로 유지하기에 충분한 50%이상의 추진력을 항상 유지 할 수 있을 만큼 신뢰성이 매우 높다는 것을 보여준다.

9. 결 언

지금까지 LNG 운반선에 전기 추진 시스템의 채용 배경과 전기 추진 시스템의 일반적인 개요에 대해서 알아보았다. 다른 추진시스템과 비교하여 효율과 전체 설치 용량, 배치의 편리성 그리고 기타 등등의 이유로 많은 장점이 있으나 단지 초기 설치비용이 높아 많은 선박으로 확대되기에는 곤란하나 선박의 운항 목적에 따라 여객선, 군함, 극지방 운용선 또는 특수 목적의 선박(DRILL SHIP ETC)등에 전기 추진의 수요가 많아 향후 많은 수요가 있으리라 예상이 되며, 특히 가스 저장량이 세계 최고인 러시아의 가스전 개발이 활발하고 향후 극지방에서 생산된 가스 운반의 상당량을 선박을 이용하게 될 것으로 예상이 되기 때문에 전기 추진의 수요가 증대 되리라 생각된다.