

가스 압축기 소개 및 개발 동향

백기영* · 서동혁* · 인배석*

1. 서론

가스 압축기는 체적을 줄여 가스의 압력을 증가시키는 기계 장치이다. 압축기의 형식은 압축방식에 따라 용적식과 터보형으로 나눌 수 있다. 용적식은 가스가 존재하는 공간의 체적을 줄여 압력을 증가시키는 방식을 사용한다. 터보형은 회전체를 이용해 속도 에너지를 압력에너지로 변환하는 방식을 사용한다. 일반적으로 용적식 압축기는 압력비가 높고 상대적으로 적은 용량의 압축기에 적합하나 터보형 압축기는 압력비가 낮은 대신 용량이 상대적으로 많은 대용량 압축기에 적합하다. 가스 압축기는 작은 체적에 높은 압력의 가스가 사용되는 곳에 주로 사용되며 주요 적용분야는 다음과 같다.

- 천연가스의 파이프라인 수송
- 석유의 정제, 천연가스 가공 플랜트, 석유 화학 플랜트
- 냉각 사이클이 사용되는 냉동기
- 다양한 공업, 제조, 건설 공정 중에 사용되는 압축공기 장비

이와 같이 다양한 분야에서 사용되는 가스 압축기 중 본 기고에서는 현재 고유가 환경에서 수요가 증가하고 있는 천연가스와 관계된 LNG 액화 플랜트와 LNG 운반선 그리고 FPSO(Floating Production, Storage and Off-loading)에 사용되는 터보 가스압축기에 한정하여 소개를 하고자 한다.

2. 본론

2.1. 시장분석

2.1.1. LNG 시장

LNG는 상대적으로 원거리의 수송 거리뿐만 아니라 천연가스를 액화하는 공정상의 특성으로 인해 고비용의 액화설비와 특수하게 제작된 수송선, 저장탱크, 기화설비 등이 필요하게

된다. 따라서 과거에 천연가스는 고비용의 LNG 보다는 70% 이상이 파이프라인을 통해 공급이 이루어져 왔다. 그러나 그동안 기술 발전으로 인해 대형 LNG 플랜트(연간 8백만톤 LNG 생산트레인) 및 수송선(Q-Max; 250,000m³) 건설이 가능해지면서 단위 LNG 비용이 크게 하락하였다. 또한 인근 가스전 고갈, 주요 소비처와 매장지간 지리적 불균형, 천연가스 공급 안정성의 중요성 대두 등으로 인해 장기적으로 세계 천연가스 시장에서의 LNG의 역할이 증가할 전망이다.

더욱이 천연가스 수요는 그림 1과 같이 꾸준하게 증가하고 있다. 특히 유럽 및 북미 지역은 LNG 기지의 건설 또는 인수가 진행 중이므로 그에 따른 LNG 수요도 높아질 것이라 예상된다.

국내 천연가스는 1986년 11월 발전용 연료로 처음 공급된 이후 연평균 17%의 성장률을 기록하며 우리나라 1차 에너지소비량의 13.9%, 발전용 연료의 17.5%를 차지하며 중요한 국가 에너지원이 되었다.

특히, 국내에서는 산업용 천연가스보다는 가정용 도시가스의 수요가 증가하고 있다. 다음 표 1은 천연가스 판매실적과 전망을 나타낸 것이다. 이러한 천연가스의 수요 증가에 발맞추기 위하여 국내·외에서 LNG 액화 플랜트와 LNG 선박에 대한 수요가 증가하고 있다.

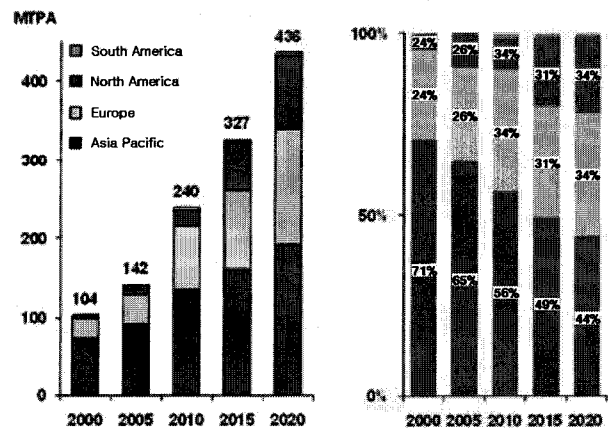


그림 1. 세계 천연가스 수요

* 삼성테크윈(주)

Email : ky.baik@samsung.com

가스 압축기 소개 및 개발 동향

표 1. 국내 천연가스 판매 실적 및 전망 (단위: 천톤)

구분	실적		전망				연평균증가율
	2000	2007	2008	2011	2015	2020	
도시가스	9,528	14,448	15,334	19,090	23,300	29,780	3.5%
발전	4,689	11,011	11,737	13,810	10,190	10,570	0.1%
계	14,217	25,459	27,071	32,900	33,490	40,350	5.4%

표 2. 압축기 종류에 따른 매출 규모 추이

(단위: 백만원)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	CAGR
터보	1,814	2,263	2,751	3,284	3,920	4,678	5,581	23.3%
로터리	284	286	280	268	257	246	236	-0.5%
왕복동	1,877	2,122	2,348	2,562	2,802	3,071	3,374	13.4%
(합계)	3,975	4,671	5,379	6,114	6,979	7,995	9,191	17.3%

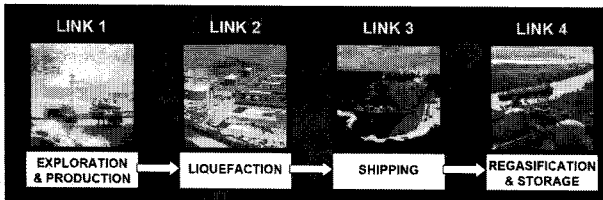


그림 2. LNG 액화 시스템의 Value Chain

2.1.2. 압축기 시장

가스 압축기 시장은 표 2와 같이 터보 방식의 압축기와 왕복동 방식 압축기가 양분하고 있다. 왕복동 압축기의 경우 압력비가 높고 적은 유량에 적합한 반면, 터보식 압축기의 경우는 왕복동에 비해 압력비는 낮은 편이나 대용량에 적합하여 가스 플랜트 사업에 적합하다. 2006년 까지 왕복동 압축기의 매출이 높았으나 2007년 이후로는 터보 방식의 압축기 매출 규모가 왕복동 압축기 매출 규모를 앞지르고 있다.

2.2. LNG 관련 산업에 사용되는 압축기

2.2.1. LNG 액화 플랜트 - 냉매 압축기

그림 2와 같이 LNG 액화 플랜트는 육지나 해양에서 생산된 기상의 천연가스를 운송이 편리하도록 액화시키는 역할을 한다. 천연가스의 액화를 위해서는 냉매를 이용해야 하는데, 이때 사용되는 냉매 사이클에서 압축기가 사용된다. LNG 액화 플랜트의 운영경제성면에서 가장 큰 이슈는 운영 효율과 건설

비용이다. 압축기와 구동기는 LNG 액화 시스템 전체 운영 효율과 밀접한 관계가 있을 뿐만 아니라 전체 건설비용(전체 건설비의 10% 차지)에도 많은 영향을 미치는 요소이다.

냉매 압축기의 사양은 천연가스 액화 플랜트가 어떤 냉매 사이클을 사용하느냐에 의해 결정되어 진다. 따라서 천연가스 액화 플랜트의 냉매 사이클 검토가 먼저 이루어져야 한다. 천연가스 액화 공정에 사용되는 냉매는 단일냉매와 혼합냉매로 구분이 되며 냉매의 종류에 따라 냉매 사이클이 결정된다. 단일 냉매는 다루기가 쉽고 작동과 정지가 빠르지만 냉매의 압축비가 혼합냉매에 비해 많이 필요하며 가스전에서 나오는 가스의 질이나 외부 조건에 영향을 많이 받게 된다. 혼합냉매는 냉각방법에 따라 냉매의 조성비를 바꾸기 쉬우며, 압축이 단일냉매에 비해 잘되는 장점을 가지는 반면 냉매의 조성을 혼합하는 별도의 장치가 필요하게 되어 사이클이 복잡해진다.

냉매 압축기는 공급방식에서도 타 압축기와 차이를 보인다. LNG 액화 플랜트용 냉매 압축기를 공급하는 주요 업체인 Siemens, Dresser-Rand(DR), General Electronics(GE), Man Turbo, Mitsubishi Heavy Industries(MHI)는 냉매 압축기뿐만 아니라 압축기를 구동하는 기계구동장치를 하나의 패키지로 제공하고 있다.

2.2.2 LNG 운송용 압축기

액화된 LNG는 LNG 운반선을 통해 소비지로 운송된다. LNG 운반선에서 사용되는 High Duty(HD) 압축기는 LNG 적하 또는 탱크 냉각 작업시 발생하는 NG 가스를 육상으로 보낼 때 사용한다. 또한 카고 탱크 예열 작업시 가열된 가스를 카고 탱크로 보낼 때에도 HD 압축기가 사용된다.

LNG 운반선을 이용한 운송 중 탱크 내의 열 침입 또는 탱크의 쿨다운시 스프레이에 의해 Boil-Off Gas(BOG)가 생성된다. 이 BOG는 탱크 내부 압력을 상승시키는 문제점을 가진다. LNG 탱크 크기가 작고 LNG의 사용량이 적었던 초창기에는 탱크에서 발생하는 BOG는 공기로 버리거나 태워버렸다. 하지만 LNG Tank의 크기가 커짐에 따라 BOG의 생성량도 늘어났다. 예를 들어 135K m³ LNG 운반선의 경우 일일 평균 BOG량은 57Ton 수준으로 시간당 2.4Ton이나 발생한다. 이에 BOG의 재활용이 필요하게 되었고 두 가지 방안으로 BOG를 이용하기 시작했다. 첫째는 듀얼 엔진의 연료로 재활용하는 것이고 둘째는 BOG를 재액화한 후 다시 탱크에 저장하는 것이다. 이중 BOG 재액화 시스템에 압축기가 사용된다. 그림 3은 BOG 재액화 과정을 보여주고 있다.

BOG 재액화 시스템에 사용되는 압축기는 Low duty(LD) 압축기로 HD 압축기에 비해 적은 유량을 다룬다. 이 LD 압

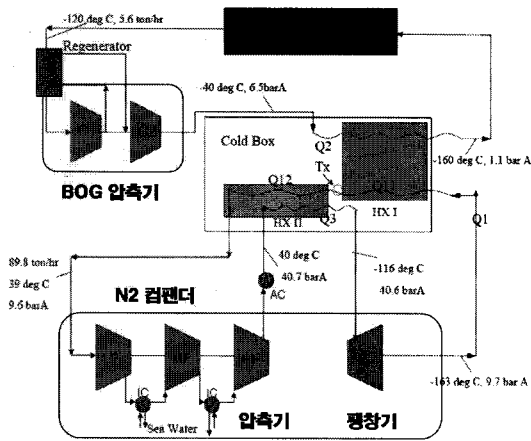


그림 3. BOG 재액화 시스템(LD 압축기 & Compressor)

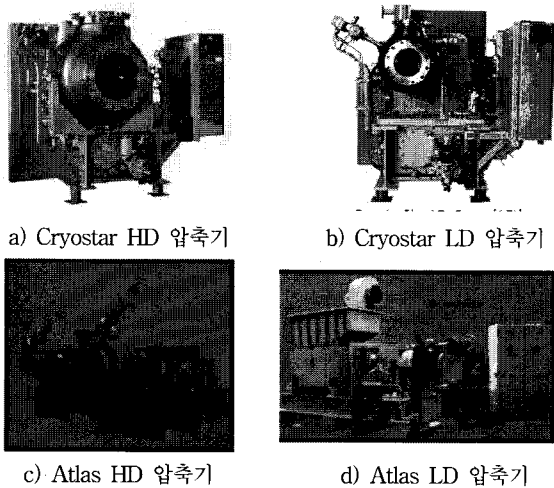


그림 4. 선진사의 LNG 운송용 가스압축기

축기는 LNG 운반선뿐만 아니라 천연가스 액화 플랜트와 LNG 기화 플랜트에서 사용되는 LNG 탱크에서도 사용된다.

BOG의 재액화 시스템에서는 주로 질소(N₂) 냉매가 사용된다. 이 냉매 사이클에는 압축기와 팽창기로 구성되는 컴팬더라는 장비가 사용된다. 컴팬더는 역브레이튼 사이클(reverse Brayton cycle)을 통해 시스템에 냉열을 제공하는 기능을 한다.

그림 4는 LNG 운송용 압축기를 공급하는 대표적인 선진사인 Cryostar와 Atlas의 주요 가스 압축기 제품을 보여준다.

2.3. 가스 압축기의 핵심기술

주요 선진사에서 제작한 LNG 관련 압축기의 사양을 분석한 결과 핵심 기술은 다음과 같다.

Shrouded Impeller

Variable Flow control

Dry Gas Seal(DGS)

고속 기어 트레인

극저온 소재 선정

고속 정밀 틸팅 패드 베어링-로터(Tilting Pad Bearing-Rotor) 시스템

2.3.1 Dry Gas Seal

원심압축기의 DGS는 가스를 다루는 압축기에 활발하게 사용되고 있다. DGS는 그림 5와 같이 캐스팅에 장착되는 정지부와 로터와 같이 운동하는 회전부로 구성된다. 이 정지부와 회전부 사이의 간격을 마이크로 단위로 유지하여 실(Seal) 누수 양을 최소화 한다. 이 DGS는 다음과 같은 특징을 가진다.

- DGS는 가스로 형성된 얇은 막에 의해 접촉 없이 회전하므로 손상이 적고 사용기간이 길.
- 마찰 손실을 약 95%까지 저감하여 파워 소비를 최소화
- 오일 실에 비해 에너지 비용/공간의 절약이 가능함.
- 작동 유체 오염의 원인인 오일을 완벽하게 제거

대표적인 DGS 공급업체로는 John Crane, Eagle Burgmann, Flowserve가 있다.

2.3.2 고속 기어 트레인

Integral geared 터보 압축기의 핵심 회전 부품인 고속기어는 모터에서 전달되는 회전수를 임펠러의 회전수로 변환시키기 위하여 그림 6과 같이 모터 축과 연결되어 구동되는 증속기어와 증속기어에 맞물려 구동되는 고속기어로 구성된다. 압축기의 설계 압축비에 따라서 1개의 증속기어에 고속기어는 현재 상용화 된 제품에서 2~4까지 구성이 가능하며, 고속기어의 회전수는 설계조건에 따라 15,000 ~ 50,000 rpm 영역까지 적용되고 있다.

고속기어는 임펠러와 조립되어 압축기 운전중 진동, 강성, 내마모성 등에 대하여 안정적인 특성을 확보하기 위해서 소재의 선정, 구조 및 동특성 해석, 설계, 가공기술 및 밸런싱 등의 핵심 기술과 경험을 필요로 한다.

2.3.3 극저온 소재 선정

상온에서는 사용상에 문제가 없는 재질들도 극저온에서 물성치가 크게 바뀌게 된다. 특히, 금속 재료의 경우 연성 및 충격강도 등이 심하게 감소하는 재질이 많아 재료 선정에 있어 세심한 주의가 필요하다. 해외 선진업체를 벤치마킹하여 재료를 선정하더라도 저온 및 극저온에서의 신뢰성 있는 물성치

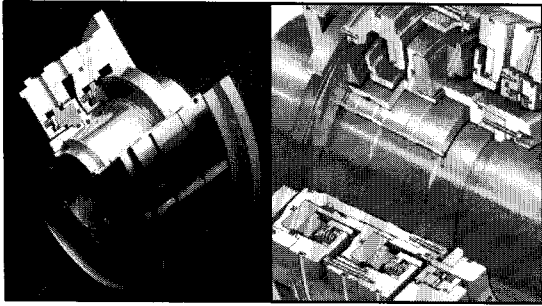


그림 5. DGS의 형상



그림 7. 틸팅 패드 베어링의 형상

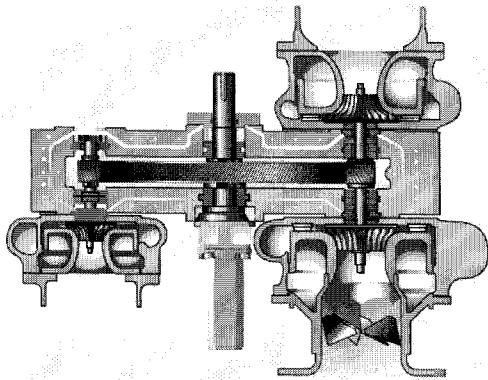


그림 6. 증속기어와 고속기어의 장착 모습

가 없으면 제품의 구조안정성 및 수명에 큰 제약을 받게 된다. LNG용 압축기 개발을 위해서는 구조해석 및 열 해석을 위한 열팽창 계수, 밀도, 탄성계수, 항복강도, 충격강도 등이 필요하게 되며 주요 부품의 수명평가를 위해서는 여러 조건에서의 피로강도 데이터가 필요하다.

2.3.4 高 신뢰도 틸팅 패드 베어링-로터 시스템

고속으로 작동하는 기계에서 가장 중요한 것은 안정적인 회전체라고 할 수 있다. 불시에 고장이 발생하면 공정 중단으로 인한 손실, 유지 보수 등의 비용이 발생할 수 있다. 따라서 설계 단계에서부터 베어링-로터 시스템에 대하여 정확한 해석이 필요하며 제품의 생산, 제작 시 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방안이 함께 강구 되어야 한다.

임펠러와 기어 등에서 발생하는 반경 및 축방향 하중을 지지하기 위하여 베어링 설계가 필수적이며 적절치 못한 베어링이 설계, 제작된 경우에는 고속 회전체의 장시간, 안정적 운전을 보장할 수 없다. 대용량, 고속 회전체에는 오일 유막 지지 베어링이 일반적으로 사용되며 특히 여러 개의 패드로 구성된 틸팅 패드 베어링이 많이 활용되고 있다. 틸팅 패드 베어링의 형상은 그림 7과 같다. 이 베어링은 연성항 계수가 없기

때문에 고속에서의 안정성이 탁월하다는 장점이 있다. 여러 운전 조건에서 안정적으로 축을 지지할 수 있도록 하기 위해서는 최소 유막 두께, 최대 메탈 온도, 최대 유막 압력 및 안정성 등에 대하여 정밀한 설계를 요구한다.

로터 해석을 통해 베어링과 축으로 이루어진 시스템의 임계 속도, 안정성 등 동특성을 파악하여 회전체가 장시간 문제없이 운전될 수 있도록 한다. 또한 API 등 관련 규격을 참고하여 정확한 해석이 수행되도록 한다.

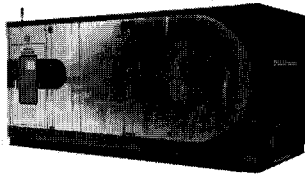
해석시 필요한 데이터로는 베어링의 강성/감쇠, 임펠러 무게/관성 모멘트, 케이스 등의 지지 구조물 강성 등이며 각각의 자료를 해석 프로그램에 입력하여 전체 시스템의 동특성을 구한다.

2.4. 국내 개발 현황

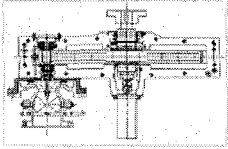
LNG 관련 장비인 터보 압축기 개발 기술은 삼성테크윈의 터보 공기 압축기 기술(6000 마력의 대용량 고압 가능)을 제외하면 타 업체는 블로워(1.0~2.0 bar 수준의 저압 압축기)를 집중적으로 생산 공급하고 있는 실정으로 고부가가치인 가스 압축기에 대한 공급 실적은 전무한 상황이다.

특히, 1990년 이후 LNG 선박분야는 국내 업체가 세계시장을 선도하며 전 세계시장 선박 건조량의 70%를 점유하고 있으며 고부가가치 시장인 LNG 운반선, FPSO 등의 수주실적은 탁월하나 LNG 선박원가의 60%를 점유하는 핵심기자재는 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.

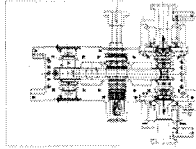
이러한 상황에서 삼성테크윈은 DR과 전략적 기술 협력 계약을 체결해 가스 압축기와 발전기 패키징 기술을 개발키로 하고 또한 LNG 운반선용 가스 압축기를 독자적으로 개발 추진하고 있다. 그림 8은 삼성테크윈이 양산하고 있는 공기 압축기와 개발 하고 있는 가스 압축기를 보여준다.



a) 공기 압축기 SM series



b) HD 압축기(개발 중)



c) LD 압축기(개발 중)

그림 8. 삼성테크윈의 터보 압축기 제품

3. 결론

지금까지 LNG 분야에서 사용되는 가스 압축기에 대해 알아보았다. LNG 분야에서 사용되는 냉매 압축기, HD 압축기, LD 압축기, 컴팬더는 선진사에서 이미 개발이 완료되어 양산이 되고 있다. 하지만 국내의 양산 실적은 전무한 상태이다. 그러나 LNG에 대한 수요 증가와 LNG 플랜트 국내 개발 노력 그리

고 국내 조선사의 장비 국산화 요구와 같은 긍정적인 환경요인에 의해 가스 압축기의 개발은 필히 이루어져야 하는 과제라고 생각한다. 일단 개발이 완료되고 가스 압축기 시장에 진입을 한다면 고부가가치 산업으로서 획기적인 경제적 이득과 기술적, 산업적 파급 효과가 기대된다.

가스압축기 시장의 후발업체로서 높은 시장 진입 장벽을 넘기 위해서는 개발 압축기의 신뢰성 확보, 선진사와의 협약을 통한 기술교류, 가격경쟁력 확보를 위한 노력이 이루어져야 한다. 또한 정부의 역할도 중요하다고 할 수 있다. 프로세스용 가스 압축기 개발은 많은 투자와 고난이도의 기술이 요구되므로 경쟁력 있는 제품 개발을 위해서는 정부의 정책적 지원이 요구된다.

이와 같이 가스 압축기 개발에 대한 정부의 지원과 기업의 개발의지가 합쳐지면 선진사가 주를 이루고 있는 가스 압축기 시장에 진입할 수 있는 발판이 마련될 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) Nexant, 2007, "LNG: The Expanding horizons of Liquefaction Technology and Project Execution Strategies".
- (2) 한원희, 2009, "세계 LNG 시장 전망".
- (3) 성기중, 2007, "세계는 지금 플랜트 투자 열풍".
- (4) 허병철, 2007, "한국 플랜트 건설산업의 현재와 미래".