

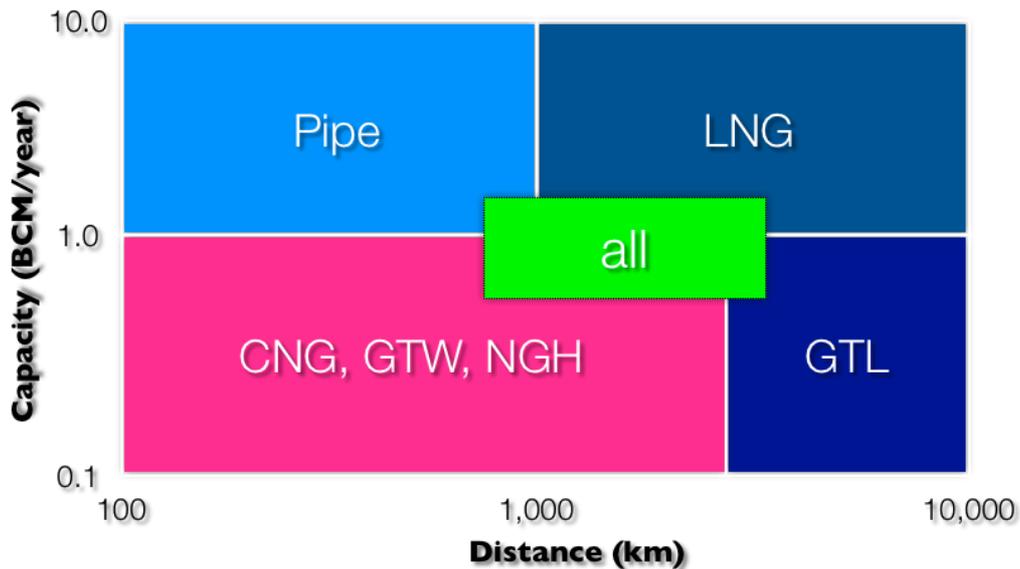
### 제 3 장 가스 수송 및 저장 수단으로의 활용

전 세계 에너지원의 흐름은 석탄에서 석유, 그리고 천연가스 쪽으로 점차 넘어가고 있는데 근본적인 이유는 탄소배출이 줄어드는 에너지원으로 진행되는 것이며, 이에 따라 향후 천연가스 시장이 급격히 팽창할 것으로 예상된다. 특히 발전과 운송 분야에서는 두드러진 성장을 할 것이며 산업체 및 일반가정 수요도 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 천연가스는 연소시에도 상대적으로 적은 오염물질이 배출되며 고열량을 얻을 수 있기 때문이다. 따라서, 천연가스에 대한 수요 증가에 맞춰 공급이 충분히 이루어져야 하는데 전 세계적 경기침체로 인해 대규모 유가스전의 개발에 대한 투자가 미뤄지고 있는 상황에서 그간 경제성이 적거나 없다가 판단해 개발이 미루어져 왔던 중소규모 가스전에 대한 관심이 크게 증가하고 있다.

통상의 천연가스 개발, 수송은 LNG (Liquefied Natural Gas)로 변형하여 이루어지는데 -165°C의 저온으로 가스를 액화시키기 위해 가압, 냉각의 단계를 다단 반복하는 형태로 많은 에너지 소비가 이루어지는 공정이다. 또한 수송 과정에서도 파이프라인을 이용한 방법 (Piped Natural Gas, PNG)이 가장 편리한 방법이나 제약사항이 있는데 투자비, 적절한 운송량, 거리 등을 고려하여 선택된다. 흔히 PNG, LNG의 방법을 고려하지만 대규모 투자 (통상 2-3억 달러), 운송 거리 등에 따라서 이의 약점을 보완할 수 있는 여러 새로운 방법이 고안되고 있는데 본 연구정보에서는 가스 하이드레이트를 이용한 천연가스 수송법을 제공하고자 한다. 천연가스 하이드레이트 (Natural Gas Hydrate, NGH) 법이라고 명명되는 이 방법은 경제적 효율성은 이미 이론적으로 검증되었으며 천연가스 하이드레이트 제조 및 수송/저장기술로의 실증이 이루어지고 있다. -20°C 수준에서 가스의 보관이 가능한 이 방법은 획기적인 가스 수송/저장 기법으로 기여할 수 있을 것으로 보인다.

<NGH와 LNG의 특징 비교>

	Natural Gas Hydrate (NGH)	Liquefied Natural Gas (LNG)
Modes of Transport and Storage	solid	liquid
Temperature to be maintained	-20°C	-162°C
Gravity	0.85 ~ 0.95	0.42 ~ 0.47
Contents in 1 m <sup>3</sup>	Natural Gas : 170 Nm <sup>3</sup> Water : 0.8 m <sup>3</sup>	Natural Gas : 600 Nm <sup>3</sup>



<거리에 대한 각 가스 수송법의 유리한 구역>

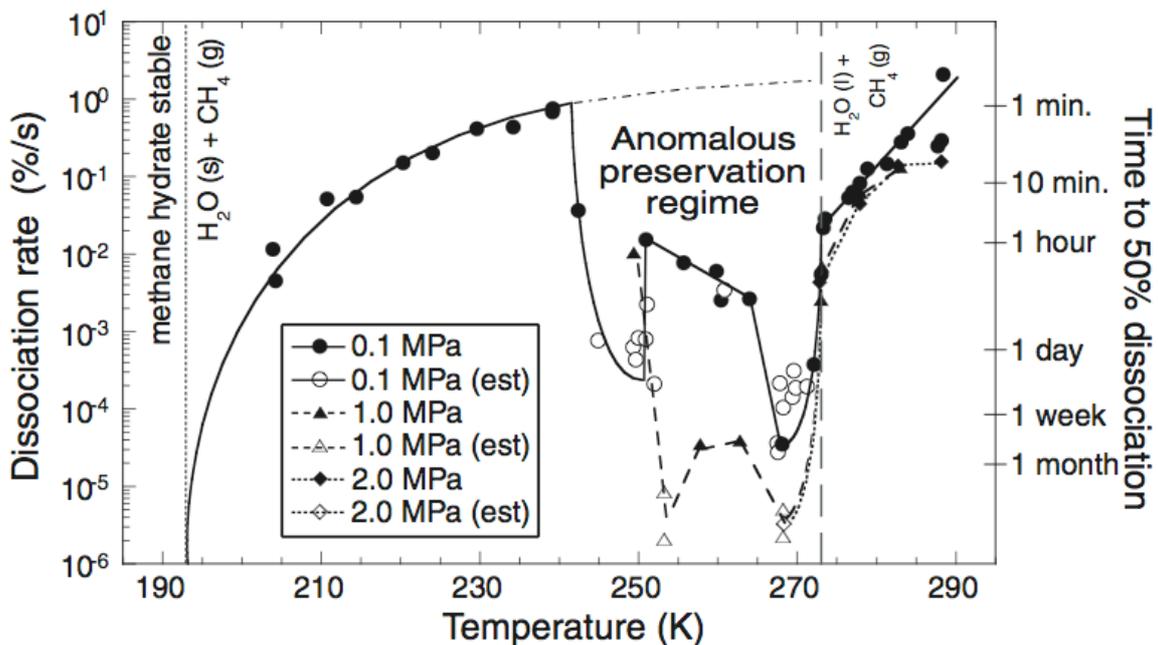
상기 그림은 거리와 운송 가스량에 대해 경쟁력있는 수송방법을 도시한 것이다. 거리가 상대적으로 적으나 수송량이 많은 PNG법은 비용이 많이 들지만 거리도 멀고 수송량도 많은 LNG는 그보다 더 많은 투자가 필요하다. 수송량이 적어도 거리가 먼 경우에는 가스를 액체탄화수소로 변형시키는 GTL법이 경쟁력이 있으며 거리가 짧고 운송량이 적은 경우에는 CNG (Compressed Natural Gas), GTW (Gas to Wire), NGH가 경쟁할 수 있다. CNG는 가스를 직접 압축시켜 수송하는 법이나 운송량에 한계가 있고 가스를 처음부터 전기로 만들어 (발전) 전기를 수송하는 것이다. NGH는 이 표기에 따르면 운송거리는 어느정도 되면서 양이 적은, 즉 가스전의 용량이 작은 그런 조건에서 유리한 것이다. 동남아시아 등지에 산재한 중소규모 가스전의 개발에 투자비가 많아 난점이 있는 경우 NGH를 제조하여 동북아시아로 수송하는 NGH가 매우 매력적인 천연가스 수송, 저장법이 될 수 있다는 증빙이 될 수 있는 것이다. 연구결과에 따르면 LNG에 비해서 NGH 수송이 15~25%까지 에너지 소비가 절약된다고 발표되었다.

다음으로, NGH법의 기술개요 및 특징에 대해 설명하고자 한다.

가스 하이드레이트는 수소결합을 하는 물 분자의 고체 격자 내에 포집되어 들어가는 기체분자로 구성되는 결정화합물임을 이미 설명한 바 있다. 천연가스를 이 방법으로 적용하여 가스 하이드레이트로 제조하면 고밀도로 가스가 압축, 저장되며 경제적으로 수송 또는 직간접적인 연료로 안전하게 이용할 수 있다. 가스 밀도를 보면 하이드레이트는 약 170cc의 천연가스를 1cc 하이드레이트 형태로 압축할 수 있는 꼴이며 저장 조건은 -20°C 수준으로서 -162°C의 LNG에 비해 상대적으로 매우 높은 온도에서 제조, 유지가 가능하기 때문에 에너지 소비량을 크게 줄일 수 있다. 또한

수송 과정에서도 지속적으로 열량을 제거하여 저온을 유지해 주어야 하는 LNG에 비해 Boil-Off Gas (BOG) 발생량이 매우 적어 중간 수송과정에서도 에너지 소비는 상대적으로 매우 적다.

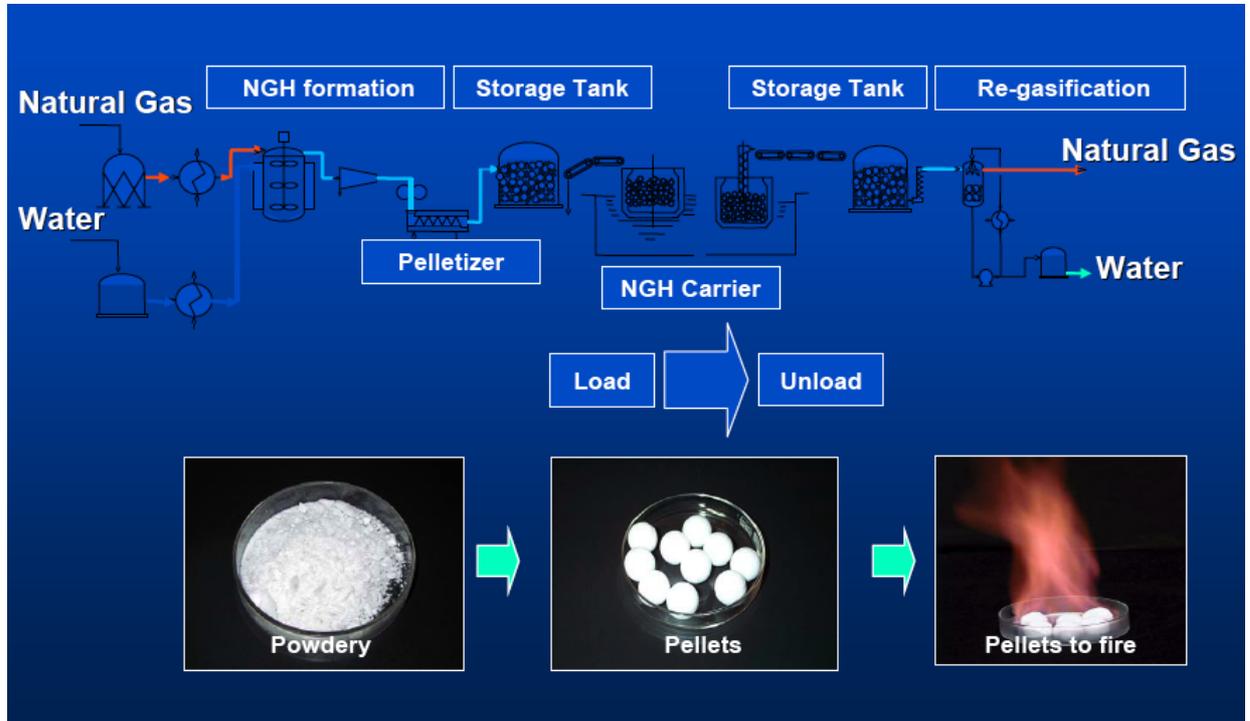
이렇게 NGH를 이용하여 가스를 수송, 저장하는 것이 가능한 이유에 대해서 살펴본다. 가스 하이드레이트는 해리압력이란 특징이 있어 적절한 온도 및 압력이 유지되어야만 하이드레이트 형태로 존재가 가능하다. 하지만 자기보존효과 (self-preservation effect)라고 하는 특성을 가지고 있다는 사실이 알려지면서 수송, 저장법으로의 가능성이 확인된 것이다. 가스 하이드레이트를 분말형태가 아닌 펠렛으로 제조하여 -20°C로 유지시키면 1기압 하에서도 장시간 동안 가스의 배출, 즉 하이드레이트 해리가 이루어지지 않은채 그 형태가 유지되는 사실이 밝혀졌는데 이를 자기보존효과라고 한다. 그 원인에 대해서는 아직도 정확한 이유가 확인되지 않고 있지만 일단 하이드레이트가 해리되어 가스가 배출되면 남아있는 물은 녹아야 하지만 여전히 영하 조건에서 얼음으로 존재할 수 밖에 없으며 이렇게 생성된 표면의 얇은 얼음막이 외부와의 열전달을 막아 추가적인 가스 해리 속도가 지연되는 현상이 발생하는 것이라고 추측된다.



<온도변화에 따른 해리속도 및 50% 잔존시까지의 시간>

상기 그림은 온도 상승에 따라 해리 속도가 급속히 상승하다가 -30°C 부근에서 갑자기 떨어지며 -20°C에서 -10°C까지의 구간에서 비정상적 보존효과가 발생하는 현상을 보여준다. 아울러 우측 종축에는 해리되어 50%의 하이드레이트가 잔존하는데까지 소요되는 시간을 표시하는데 해당 온도구간에서는 수개월까지도 절반정도의 가스가 잔존할 수 있다는 것을 알려주고 있다.

자기보존효과를 활용한 NGH 수송법은 가스전 또는 천연가스 하이드레이트 부존지역으로부터 NGH 생산, 펠릿화, 저장, 수송, 재가스화 등 일련의 공정을 포함하는 통합기술로 구성된다. 다음의 그림에 일련의 NGH 공정을 설명하고자 chain을 나열해 보았다.



<NGH를 이용한 천연가스 수송, 저장법의 공정 chain>

NGH법의 핵심은 가스 하이드레이트를 얼마나 효과적으로 제조하는가에 달려있다. 유가스 전 혹은 천연가스 하이드레이트 부존층에서 얻어낸 천연가스를 물과 반응시켜 NGH를 제조한다. 그 방법에 있어서는 여러가지 안이 제시되었으며 구체적 방법 소개는 후에 별도의 공간을 통해 소개하며 우선은 chain 공정에 대한 내용을 기술한다. 유가스전 혹은 천연가스 하이드레이트 부존층에서 얻어지는 가스는 이미 고압으로 제공되므로 별도의 가압은 필요없으나 적절한 압력 조건으로는 약 50 bar 수준으로 알려져 있다. 미리 가스를 충분히 용해시켜 하이드레이트 핵 (Nucleus)을 만들어 둔 물을 이용하는 것이 빠른 하이드레이트 제조에 도움이 된다. 이렇게 제조한 가스 하이드레이트는 슬러리 형태로 얻어지는데 고속으로 다량의 슬러리를 얻어 잔류의 물과 하이드레이트 파우더를 분리해 내는 것이 중요하다. Mitsui에서 이용하는 방법으로는 슬러리를 하부에서 상부로 밀어 올리면서 중력을 이용해 물을 제거하고 파우더를 얻는 방식이며 한국생산기술연구원에서 시행중인 지식경제부 연구과제에서는 고속원심분리방식을 이용해 물을 제거한다. 얻어진 파우더는 역시 해리되지 않을 (상압)저온조건에서 펠릿으로 압축하여 선호의 형태로 만든다. 이제껏 발표된 형태로는 구형, 럭비볼형, 방석형 등이 있다. 이렇게 얻어진 펠릿은 이제 자기보

존효과가 나타날 수 있어 가스 수송 및 저장의 방법으로 이용이 가능해진다. 저장 탱크에 보관해 둔 펠릿은 NGH를 수송하는 경우 육상 및 해상에 따라서 선박 혹은 열차/트럭으로의 적용이 가능하다. 동남아시아 가스전을 대상으로 개발하고자 하는 Mitsui의 방식은 NGH 수송 선박을 적용하고 있으며 일본으로의 도착 이후에는 트럭으로 하역하여 육상수송 하는 방식도 진행되고 있다. 선박으로 수송되어 목적지에 도착한 NGH는 하역되어 다시 임시보관되며 최종소비처로 공급될 때는 천연가스로 제공되어야 하므로 열을 가하여 NGH를 해리, 가스 형태로 공급한다. 최종 소비처로의 파이프라인 공급이 아닌 별도 수송을 해야 할 경우에는 육상수송으로 트럭을 이용해야 하는데 이 경우에는 저온이 유지되는 트럭이 필요하다. NGH를 해리시켜 가스로 얻는 과정을 재가스화 (re-gasification)이라고 하며 이 과정에서도 효과적으로 에너지 소비를 최소화 해야 한다. 이를 위해 해수를 끌어다가 열교환 방식으로 NGH 펠릿을 녹여내며 해리, 발생된 가스는 가압형태로 얻어지므로 쉽게 이후 수송이 가능하다. 열교환 방식을 효율적으로 달성하기 위해서는 특별한 형태의 재가스화 반응기가 설계되어야 한다. 재가스화되어 얻어지는 천연가스 외에 하이드레이트로부터 물이 생성되는데 이 물은 NGH 제조당시 염수 (해수)를 이용하였는지 담수를 이용하였는지에 따라서 향후 이용이 결정되는데 담수로 얻어지는 경우 공업용수 또는 생산유가스전 인근의 용수로 공급될 수 있으며 염수인 경우 적절한 염분 농도로 조절하여 재사용하는 방식으로 순환된다.

NGH를 이용한 가스의 수송 방법 이외에도 하이드레이트를 이용한 가스 저장방법이 가능하다. CNG로 공급하는 고압법은 가스의 양이 적고 압력이 높다는 단점이 있는데, 이를 극복할 수 있는 방법으로 ANG (Adsorbed Natural Gas)를 이용하는 방식이 있다. 다공물질에 가스를 흡착시키는 방법이 개발되고 있는데 이 경우 다공체의 표면에 적절한 부피의 물을 분무시켜 가스를 흡착시키면 흡착과 더불어 가스 하이드레이트 형성을 통해 두 가지 효과를 동시에 얻을 수 있다. 그러기 위해서는 적량의 물과 다공체 표면적의 비율에 대한 연구가 필요하다. 또한 활용하는 다공체의 표면적과 공극부피에 대한 최적화도 필요하다. ANG 이용법은 CNG에 비해 더 낮은 압력에서 더 많은 양의 가스를 저장할 수 있다는 장점이 있어 배관을 이용한 가스공급이 어려운 지역으로의 공급 이전에 임시보관 탱크 혹은 차량용 연료저장 탱크 등으로 적용이 연구되고 있다.