

出國報告（出國類別：實習）

赴大阪瓦斯公司參加 LNG 基礎物理、安全防護、冷能發電及接收訓練

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：林子揚 儀電工程師

派赴國家/地區：日本

出國期間：107 年 12 月 10 日至 12 月 23 日

報告日期：108 年 01 月 17 日

目錄

壹、 國外公務之目的與過程-----	4
貳、 國外公務之心得與感想-----	5
一、 LNG 基本物理特性-----	5
二、 LNG 安全防護-----	10
三、 冷能發電的基本原理-----	13
四、 冷能發電的優點與實績-----	15
五、 分層現象(Stratification)-----	16
六、 接收作業如何避免分層-----	17
七、 心得感想-----	17
參、 出國期間所遭遇之困難與特殊事項-----	18
肆、 對本公司之具體建議-----	18

圖目錄

圖 1 凍脹(Frost Heave)現象說明圖	6
圖 2 Bowing 現象示意圖	7
圖 3 Liquid Seal in a Valve 現象示意圖	8
圖 4 Liquid Seal in a Pipe 現象示意圖	9
圖 5 LNG 燃燒 3 要素	10
圖 6 Cold Energy Power Generation (Rankine Cycle)	13
圖 7 OGC Cold Energy Power Generation 模型	14
圖 8 Cold Energy Power Generation (Rankine + Direct Expansion)	15

壹、國外公務之目的與過程

因應政府能源轉型政策，本公司大力推動液態天然氣 (LNG) 輸送、儲存及發電等相關工程興建。液態天然氣因其低溫之物理特性而需採用特殊材料、設備及技術等，在國內仍缺乏相關技術經驗，因此赴日本向訂約廠商大阪瓦斯公司 (OGC) 實習相關知識，以提高設計經驗，期許能有助於液態天然氣相關工程之推動。

本次參訓過程與如下行程之安排一致。

**OSAKA GAS ENGINEERING CO., LTD.**
2-4-9 Bingomachi, Chuo-ku, Osaka, 541-0051 Japan
Tel: +81-6-6220-1228 Fax: +81-6-6220-1229

< Attachment >
Visiting Trainee

Name	English Name	Title	Department	Duration	Location
林子揚	Lin, Tzu Yang	Instrument and Control Engineer	Instrument and Control Section, DNFPF	11 th Dec. ~ 22 nd Dec	Osaka

Itinerary

Item	Duration	Location	Content
1	10 th Dec		Traffic from Taiwan to Japan
2	11 th Dec.~22 nd Dec	OCG office, Osaka	Lessons for LNG receiving station fundamentals、facilities、simulator, etc.*
3	23 rd Dec		Traffic from Japan to Taiwan

Note: * The LNG receiving station on site training will be arranged on 17th Dec round trips.

貳、 國外公務之心得與感想

一、 LNG 基本物理特性

(1) 冷能 (Cold Energy)

LNG 於液態時具備冷能 (Cold Energy) 可供運用，其冷能可分為兩種型式，一種是其熱能 (Thermal Energy)，LNG 的溫度的約 -160°C ，可用於冷凍、分離冷卻液化氣體等用途。

其二是壓力位能 (Pressure Potential Energy)，LNG 在吸收熱能氣化 (Gasification) 的過程中體積膨脹 600 倍，產巨大的壓力，大阪瓦斯公司便是利用 LNG 氣化後的巨大壓力位能將天然氣輸送至大阪、奈良、神戶等等城市裡的千家萬戶。

(2) 脆化 (Embrittlement)

LNG 於液態時的溫度極低 (-160°C)，在此溫度下，許多物質會出現脆化現象，譬如將橡膠皮球浸於 LNG 後，將其丟到地面，該橡膠皮球將形同玻璃球般應聲碎裂。又譬如將碳鋼片浸泡於 LNG 後，碳鋼片將失去延展性，此時若使用鐵鎚敲擊，便可請易將碳鋼片敲成碎片。

這正是製作 LNG 的容器時必需使用 9% 鎳鋼來避免 LNG 容器材料於低溫下喪失延展性，出現脆化而造成洩漏的原因。

(3) 地基凍脹 (Frost Heave)

當 LNG 洩漏並與土壤接觸會形成凍脹 (Frost

Heave)的現象，此現象的發生會造成地面隆起，進而損壞其上的設施結構。因此 LNG 的容器、管線、管線支撐架或極低溫設備之下方，都須要加熱器，以避免凍脹現象發生而損壞地面上的結構物。

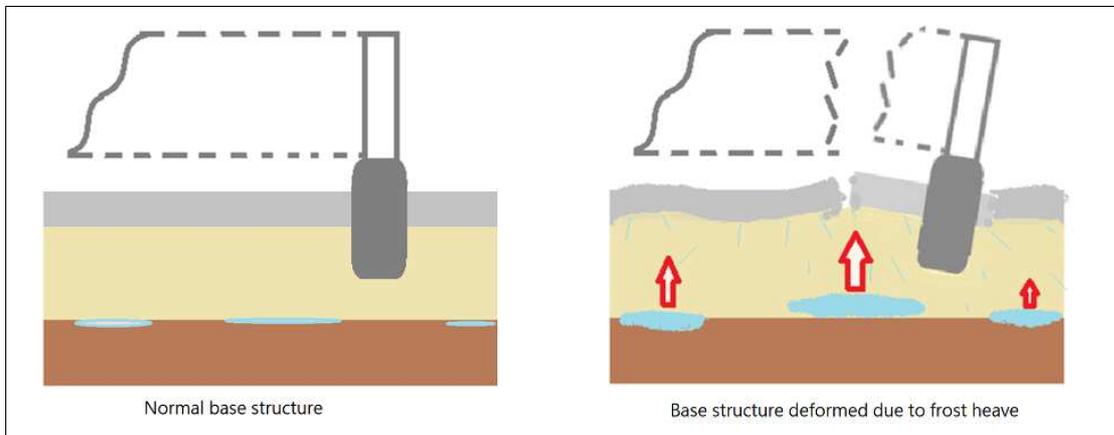


圖 1 凍脹(Frost Heave)現象說明圖

大阪瓦斯的 LNG 儲槽基座，採用盤管通以 Brine(未必採用鹽水，但應有防凍的成分)傳熱媒介，以循環加熱的方式防止土壤凍脹。

而中油的 LNG 儲槽基座，則採用電熱元件的方式維持土壤的溫度防止土壤凍脹。

(4) 管路彎曲 (Bowling)

由於 LNG 的溫度極低且 LNG 在大管徑管路的輸送過程中不容易滿管輸送，此時一旦流速過快，管路下緣冷卻收縮的速率高於管路上緣，便會造成管路彎曲的現象。

若是造成管路銜接處洩露等事故，將會造成輸送時程的延誤以及安全上的顧慮，因此，LNG 在大管徑管路的輸送作業必須由低流速緩慢增速的方式進行，以避免造成管路彎曲的現象。

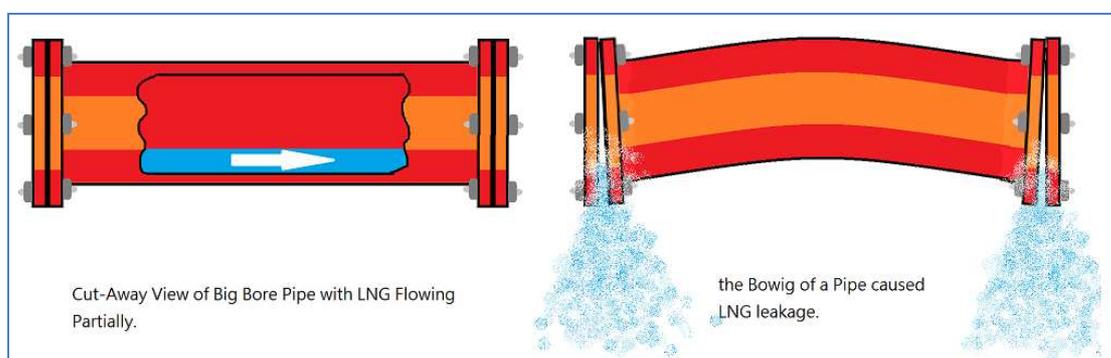


圖 2 Bowing 現象示意圖

(5)液態封存 (Liquid Seal)

由於 LNG 氣化後體積膨脹 600 倍並伴隨極大壓力位能的建立，因此除了儲存在妥善保溫，且嚴密監控溫度、壓力及密度的 LNG 儲槽之外，應避免 LNG 出液態現封存的情況。

A.LNG 閥體液態封存

閥的操作過程中由於 LNG 可能積貯於閥蓋(Bonnet)腔室中，一旦在閥體關斷的狀態下，閥蓋腔室中的 LNG 吸收熱量後體積膨脹 600 倍，所形成的壓力位能將造成閥體結構之損壞。

此問題可以透過於閥體設計減壓孔，以將閥蓋腔室與管路之一端連通，提供壓力釋放管道，避免閥體結構的損壞。

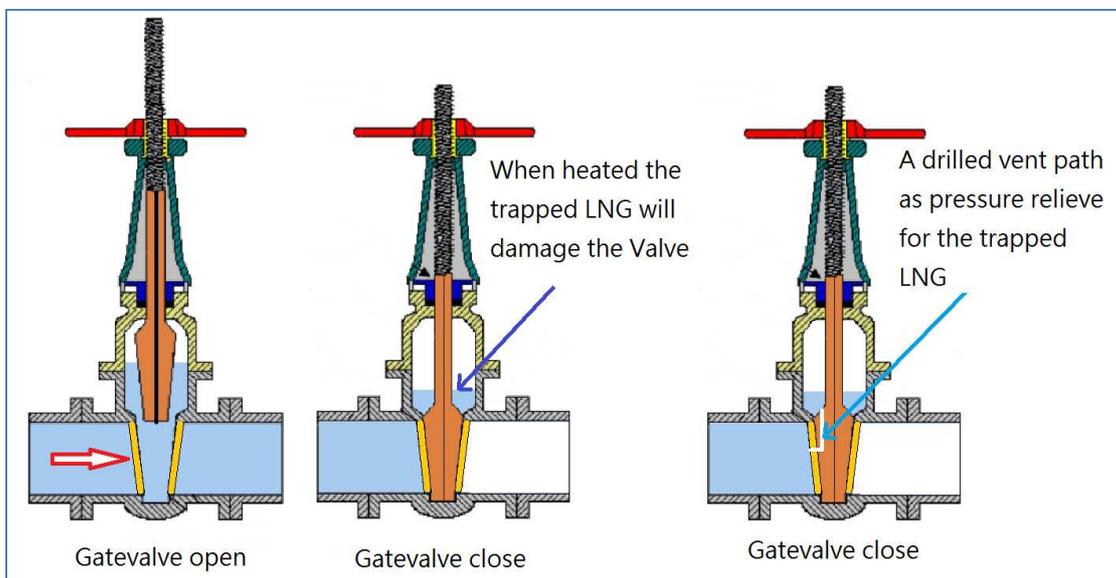


圖 3 Liquid Seal in a Valve 現象示意圖

B. LNG 管路液態封存

管路的設計上，應避免操作過程中出現 LNG 封存於管路中的情形。

以圖 4 雙控制閥中的管路為例說明：假設 LNG 在管路輸送中突遇特殊事故（地震、或火警），依照法規必須立刻關斷並停止 LNG 輸送，但若是此雙閥被設計成同時關斷，便會使 LNG 有機會封存於中間的管道中。管路中的 LNG 並在極短的時間內，吸收周圍環境的熱量體使積膨脹 600 倍，所產生的膨脹壓力便會破壞管路結構中機械強度最脆弱處，以釋放壓力。

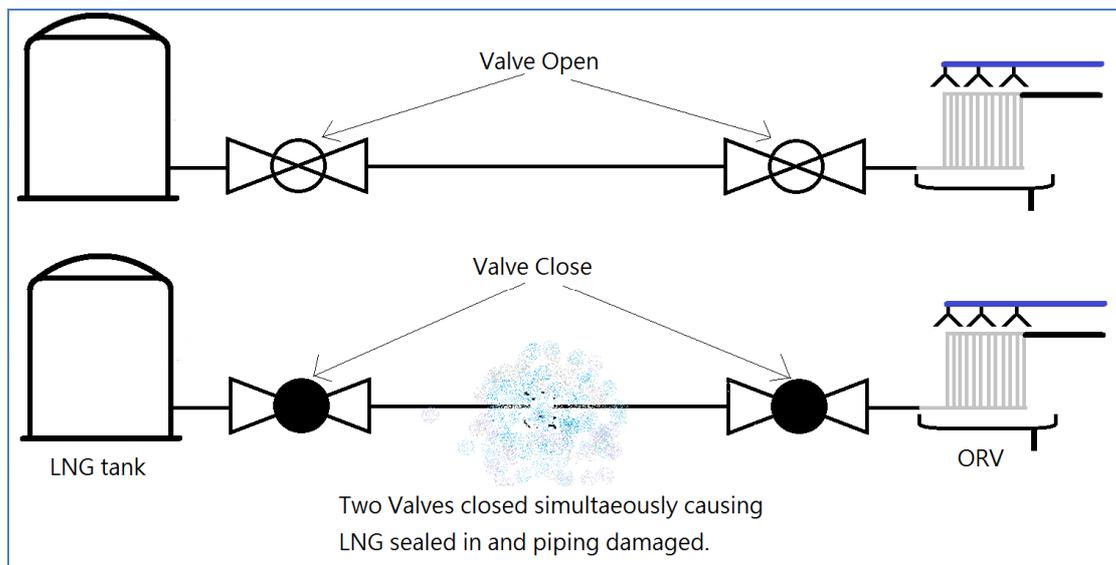


圖 4 Liquid Seal in a Pipe 現象示意圖

因此閥的安裝位置是否會形成 LNG 封存，以及 LNG 管路在 Fail Safe 下的預設開/關狀態都必須詳加檢視，確實避免 LNG 封存於管路中的情形。

二、 LNG 安全防護

(1) 燃燒的條件 (Fire Triangle)

LNG 在空氣的濃度介於 5%~15%才可被點燃，LNG 無法自燃，因此 LNG 的燃燒必須同時具備燃燒三要素：氧氣、5%~15%的天然氣、熱量。相同的，欲熄滅 LNG 的火災可透過移除三要素之其中至少一項來達成。

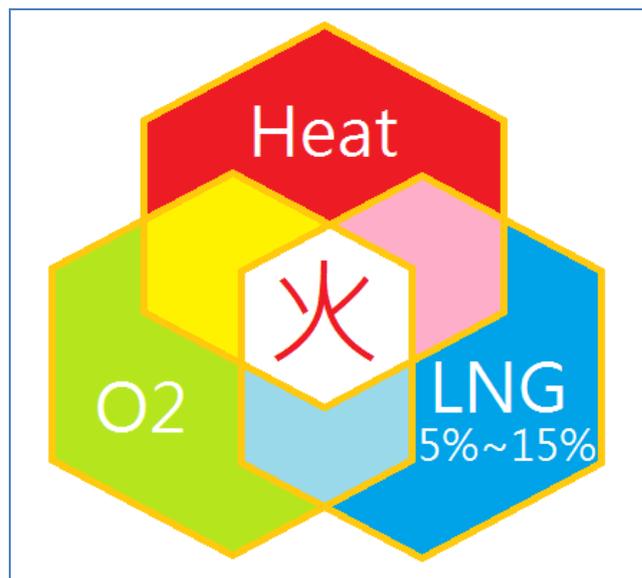


圖 5 LNG 燃燒 3 要素

(1) 禁止以水滅火 (Do Not Use Water)

LNG 的火災禁止以水滅火，因為水會提供 LNG 熱量，加速 LNG 氣化成 NG，因此會使火勢加大。另外因為 LNG 的密度小於水，若以水進行滅火，LNG 浮於水面上便會隨著水四處移動並迅速擴大燃燒範圍。

(2) 灑水降溫 (Mitigation)

但是在火災發生時，LNG 儲槽仍然需要灑水降溫，大阪瓦斯公司之 LNG 儲槽即設置有海水撒水裝置，當儲

槽周圍發生火災時，海水的澆蓋可以衰減幅射熱避免 LNG 儲槽被加熱，以減少 BOG 的產生。

但是，使用海水會讓金屬加速鏽蝕。所以一旦火災被撲滅後，儲槽及曾被海水噴灑之處都應該再使用淡水加以沖洗，以避免鏽蝕。

另外，在 Metal Double-Shell LNG Tank 的外牆上，除了設置泡沫滅火器外，亦設有向上噴灑的水霧簾幕 (Liquid Barrier)，水霧簾幕也同樣也具有衰減幅射熱的用途，並可阻止 NG 擴散。

(3) 靜電防止服裝 (Anti-Static Suit)

家用瓦斯爐的點火系統是以電弧放電來達成，因此在 LNG 的管制區內，必須穿著防止靜電的衣服以及鞋子，以避免因為靜電產生的電弧可能引發的火災。

(4) 特殊搶救服裝及工具 (Special Tools)

大阪瓦司公司在市區發生天然氣事故時，所有的員工都必須結束休假趕往辦公室上班，而搶救工作是由類似救護車的救災車所執行，救災車的鳴聲與消防車一樣，也具有相同的路權，在緊急時不受交通規則所限制。

救災人員之穿著必須是防靜電的，為了修補天然氣管線，救災車亦備有氧氣瓶、氣體探測器、防止火花的特殊鏟子，及防止火花特殊鐵鎚等，用以在天然氣外洩環境下進行搶救工作。

(5) 濕毛巾可用於緊急止漏 (Wet Towel Remedy)

當 LNG 發生小規模的洩露時，濕毛巾能夠提供緊急

止漏的功能。在濕毛巾敷貼於 LNG 的洩漏處，溼毛巾會立刻結冰並黏著於洩漏處，達到立即止漏的效果。

即便如此，大阪瓦斯公司仍然傾向於暫時停機採取立即查修的方式來處理洩漏問題。

(6) LNG 管路下方設置溝渠 .(Ditch Under Piping)

大阪瓦斯公司在 LNG 輸送管路的下方都挖有溝渠，這是為了當發生洩漏時可以限制洩漏的範圍，另外在洩漏發生時，可使用泡水的尿布做為沙包，更進一步的在溝渠的兩端築起臨時的圍牆，以利 LNG 的收集與回收處理(於火災時亦有利於撲滅)。

只是，如何避免雨水進入溝渠會是需要考慮的問題。因為水會提供 LNG 熱量，並且會迅速擴大 LNG 的流動範圍，因此應該有適當的設計，使溝渠在大雨下，仍可維持乾燥。

(7) 消防車 (Fire Truck)

大阪瓦斯公司於接收站擁有自己的消防站，配合平時的演練，於緊急情況發生時可以儘速控制災情。

由於天然氣火災的滅火不得使用水，必須使用乾粉、二氧化碳、或泡沫滅火，本公司接收站未設置自己的滅火站，平時需透過與外單位實施消防演練，明確告知消防車滅火藥劑的種類，以利緊急情況發生時，能出動正確的車輛，避免誤派撒水車救火，以有效搶救災情。

三、冷能發電的基本原理

大阪瓦斯公司利用三個熱交換器(TRI-EX, Triple Exchangers)的中間流體蒸發器(IFV, Intermediate Fluid Vaporizer)將 LNG 的冷能利用於發電(詳圖 6)。

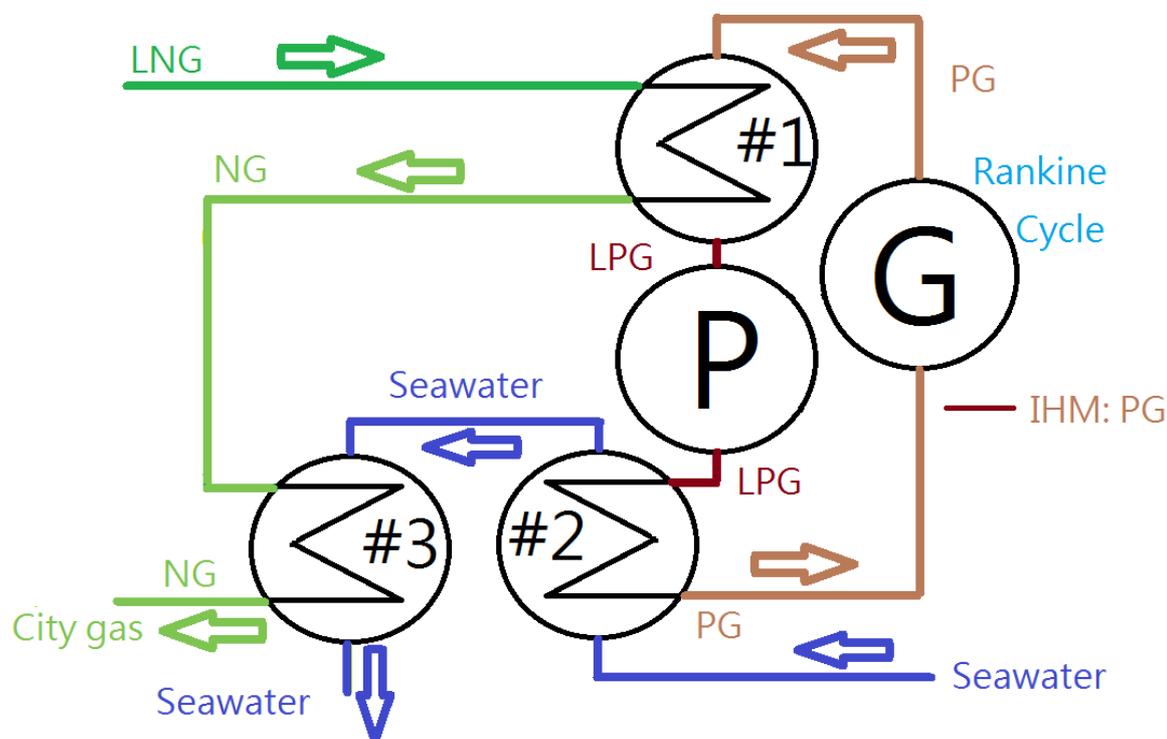


圖 6 Cold Energy Power Generation (Rankine Cycle)

#1 熱交換器中，LNG 用於與中間流體蒸發器(IFV, Intermediate Fluid Vaporizer)的中間加熱介質(IHM, Intermediate Heating Medium)－丙烷(PG, propane)進行熱交換，使 PG 凝結回 LPG，並在 IHM 的封閉系統形成局部的負壓。

#2 熱交換器則利用海水加熱 LPG 成為 PG，LPG 變化成 PG 所產生的膨脹壓力在 IHM 的封閉系統形成局部的正壓。利用 IHM 封閉系統中氣化及冷凝的壓力差推動汽渦輪機(G)做功產生電力，即是大阪瓦斯公司泉北 2 站其中一部 LNG 冷能發電設備及姬路站 LNG 冷能發電設備所使用的冷能發電方式

---朗肯循環(Rankine Cycle)發電。

#3 熱交換器是共用加熱丙烷的海水再加熱 NG，提高輸送城市用氣的溫度。IHM 的封閉循環則透過 LPG 泵(P)來維持。

在泉北 2 站的另一部 LNG 冷能發電設備，LNG 與丙烷熱交換後蒸發成 NG 所產生的膨脹壓力亦被利用於發電。朗肯循環再加上直接天然氣膨脹的冷能發電，是大阪斯公司所設計的冷能發電設備效率最高者(詳圖 7)。



圖 7 OGC Cold Energy Power Generation 模型

經過利用大阪瓦斯公司網站所公布的數據可以推得，透過 LNG 膨脹的直接壓力發電可取得約 71.4%從朗肯循環所產生的電力。

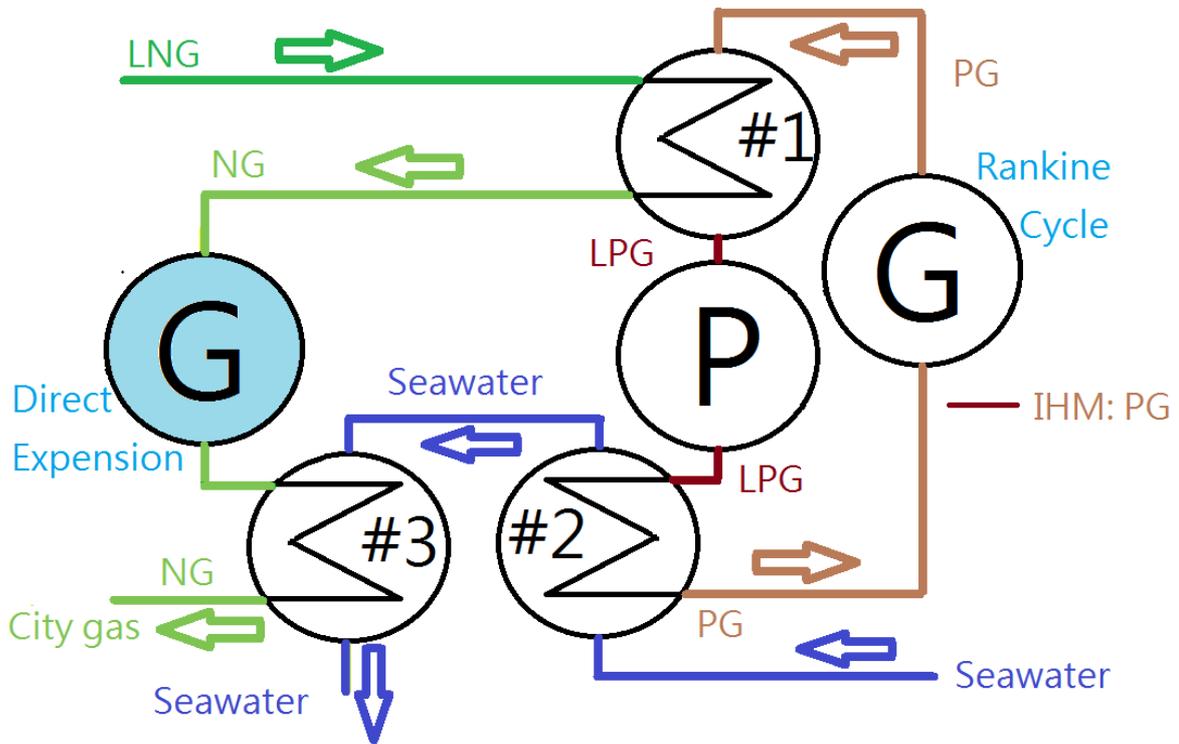


圖 8 Cold Energy Power Generation

(Rankine + Direct Expansion)

四、冷能發電的優點與實績(節錄自大阪瓦斯公司官網

https://www.osakagas.co.jp/en/rd/technical/1198907_6995.html)

- (1) 發電過程不產生 CO₂，150 t/h 的 LNG 冷能發電一年約可減少 15,000 噸的碳排放。
- (2) 即使在冷能發電設備失效的狀態下，仍可經由#3 蒸發器提供完好無缺的蒸發效能，不會影響天然氣的供應，因此不需設計備用的蒸發器。
- (3) 當安全事故發生必須緊急停機時，只要關閉 LNG 入口關斷閥，安全系統就會啟動，並安全的關閉蒸發器及冷能發電機。
- (4) 理論上，若 LNG 的冷能可以 100% 利用，每噸 LNG

可以萃取出 240kWh 的能量，若以天然氣發電廠約 300 t/h 的再氣化量需求來估算，理論上可以額外取得 72MW 的發電量。

大阪瓦斯公司的冷能發電實績

但若以大阪瓦斯公司泉北 2 號機最高效率的朗肯循環加直接天然氣膨脹方式的發電實績 (LNG 150t/h: 6000kW) 再假設天然氣發電廠 300 t/h 的再氣化量需求來估算，實際上所能取得的冷能僅有約 12MW 的發電量。

實績顯示大阪瓦斯公司目前最先進的冷能發電技術僅能從理論值中萃取出 16.7% 的冷能，顯示冷能發電技術仍然有許多進步的空間。

五、分層現象 (Stratification)

當儲槽內的 LNG 出現不同的密度而產生分層現象時，密度小的 LNG 浮在密度大 LNG 上方形成上層，在接受環境熱量後逐漸產生 BOG 且漸漸的濃縮並增加其密度。而下層 LNG 則同樣持續自環境接收熱能，卻因為受到上層 LNG 的阻隔，而無法順利釋放出 BOG。

上層 LNG 的密度經過一段時間的濃縮後，一旦密度比下層 LNG 的密度大，則在極短的時間，上層與下層的 LNG 瞬間反轉，形成 Rollover 的現象，並伴隨累積已久的 BOG 釋放，在儲槽內產生極大的破壞性壓力。

安全釋壓閥固然可以在此緊急情形下宣洩壓力，保護住儲槽。但是 BOG 的釋放即是無法善用的資源白白浪費掉而已。

因此，LNG 儲槽庫存在不同液位深度的壓力、密度及溫度 (PDT, Pressure、Density、Temperature) 數值必須時刻

被監視，以避免分層現象的產生。

當觀察到 LNG 出現可能的分層現象時，主控制室可以透過啟動儲槽內循環泵，以溫和的方式慢慢地混合儲槽內的 LNG，使庫存均質化以避免出現分層的現象。

六、接收作業如何避免分層

LNG 船在靠港前約 30 分鐘，控制室的人員即需要開始與船長進行溝通，了解將接收的 LNG 的壓力、溫度與密度(PTD)的數值及熱值等資訊，再比對既有庫存 LNG 的 PTD 的數值，以選取用於接收的儲存槽。

當 LNG 存量極低時可以直接用來接收新到貨的 LNG，不需考慮存量的 PTD 狀態。但當 LNG 儲槽仍有存量時，其 PTD 數值應與即將接收的 LNG 的 PTD 數值接近，以避免產生分層的現象。

除此之外，應儘量掌握船公司在上一個卸收站時的接收情形，及早掌握 LNG 的品質狀況並做出適當的處理。

七、心得感想

此次赴大阪瓦斯公司參訓的最大心得在於大阪瓦斯公司的 LNG 接收站往往與臨近的三井化工廠、DIC 堺工廠、或關西電廠等等鄰避設施資源共享，形成產業聚落。

因為大阪瓦斯公司利用冷能自空氣中萃取出酸素(氧氣)、窒素(二氧化碳)、液態氮等等化學原料，因此鄰近的化工廠可以就近取得這些化學原料加工生產，除了可節省運費支出，又可避免危險性物質的陸運風險。

另外，因為 ORV 氣化效率與海水溫度成正比，在姬路接

收站，大阪瓦斯公司便利用關西電廠的溫排水做為 ORV 加熱 LNG 使用。此舉可避免在冬季天冷時，因 ORV 氣化效率不足，必須增設使用浸沒式燃燒蒸發器 (SCV, submerged combustion vaporizer) 及燃料的開支。

大阪瓦斯公司善於分享，創造共榮的特性，確實有值得學習之處。

參、 出國期間所遭遇之困難與特殊事項

在 LNG 接收站內，配合接收站的安全作業規定，只能在教學巴士內聽取解說員對相關設備的講解，行程中禁止有拍照、錄音、攝影等行為，對於需要將大量資訊消化、理解並將記憶繕寫成報告，是此行最困難、有挑戰性的任務。

肆、 對本公司之具體建議

建議評估增設 NG Direct Expansion 冷能發電。

以天然氣接收站 300 t/h 的再氣化量需求為例，並利用泉北 2 站直接 NG Direct Expansion 發電的數據估算，單獨利用 NG 蒸發膨脹的壓力發電，約可取得 5MW 的電力 (基載綠能)。

且因發電機是安裝在 NG 側，不需使用低溫材料及工法，無 LNG 液態封存的風險，在僅設置發電機及相關控制系統的情況下，約可取得 5MW 的電力，而且免去昂貴複雜的 3EX IFV 鈦金屬管熱交換器、LPG 的儲槽及 LPG Pump 等設備，及其所需的設置空間。

若以每度綠電 5 元來估算，5MW 的發電量每年約可回收新台幣 1 億 3 千 1 百 4 拾萬元，建議電源開發處可請顧問公司訪查

市面設計，在考慮發電機採購成本、20年折舊攤提、及運維費用成本等因素下，評估是否有設置效益。