

LNG 施設의 防災對策 考察 (I)

梁 成 煥*

I. 序 論

1970年代에 들어서서 겪게된 2次에 걸친「오일 쇼크」로 인해 그 동안 持續적으로 成長해 온 世界經濟는 큰 타격을 입게 되었다. 油價上昇이 直接的인 原因이 되어 우리나라에서도 에너지 節約운동이 광범위하게 추진되었으며 이제는 일부 産業分野에서 상당한 效果가 나타나고 있는 것으로 評價되고 있다.

또 에너지源의 多變化와 이의 安定的 供給을 目標로 努力해 온 結果가 나타나 液化天然가스(LNG)의 引受基地가 竣工을 보게 되었고 이제는 우리 日常에까지 接近하게 되어 LNG에 대한 防災問題가 새로운 社會問題로 提起될 듯하다.

II. LNG 施設의 概要

LNG 施設을 大別하면 (1) 尖頭需要緩和工場(peak shaving plants), (2) 海上補給受注 施設(marine importation terminals), (3) (1)과 (2)를 兼한 工場 施設, 그리고 (4) 衛星工場(Satellite plant)으로 區分할 수 있다.

尖頭需要緩和工場은 需要量이 적은 봄, 여름, 가을 三季節 동안 管路를 通하여 供給받아 이를 液化-貯藏하였다가 盛需期인 겨울에 이를 다시 氣化시켜 管路를 通해 供給하는 施設이다. 海上補給受注施設은 Algeria, Libya 및 Alaska 等地

에 있는 原産基地工場(base-load plants)으로부터 油槽船이 실어온 LNG를 받는 施設인 바, 原産基地工場은 貯藏能力이 적은 데 反하여 液化能力은 대단히 크다. 衛星工場은 供給管路에서 멀리 떨어져 있는 地域에 트럭 혹은 鐵道貨車를 利用해서 LNG를 供給할 수 있도록 마련한 小規模의 貯藏 및 氣化施設이다.

III. LNG 工場의 主要工程

液化天然 가스 工場은 LNG의 生産과 供給에 있어서 4가지의 主要段階를 거치게 되는데, (1) 가스의 處理 및 淨化, (2) 天然 가스의 液化, (3) LNG의 貯藏, (4) 輸送管路에 導入시키기 위한 氣化工程등이 바로 그것이다.

1. 가스의 處理 및 精製

LNG 處理工程은 $-260^{\circ}\text{F}(-162^{\circ}\text{C})$ 나 되는 極度로 冷却된 低溫度에서 進行되므로 液化된 가스 속에 不純物 또는 汚染物質이 있을 경우, 工程器機(例를 들면 cold box area)를 腐蝕시키거나 故障내거나 閉鎖시킬 수 있으므로 管路에 넣어 보내기 전에 이러한 不純物들을 除去할 必要가 있다. 가장 흔히 있는 不純物로는 물, 二酸化炭素, 黃化水素, 塵埃, 油 및 重炭化水素(凝縮物) 등이 다.

가. 水分의 除去

水分은 대개 乾燥塔內에서 乾燥劑에 吸着시켜서 除去한다. 여기에 使用되는 乾燥劑로는 活性 알루미나, 活性bauxite, 실리카겔 및 分子체(mole-

* 正會員 · 火保點檢部課長 · 消防技術士

cular sieves, 특수하게 만들어진 鑛物吸着劑인 zeolite) 등이다.

引入되는 가스에 多量의 水分이 含有된 境遇에는 1次的으로 디에틸렌글리콜을 吸着劑로 使用하기도 하며 메타놀에 의한 脫水도 利用된다.

나. CO₂ 및 H₂S의 除去

二酸化炭素와 黃化水素는 모노에타놀아민(MEA), 디에타놀아민(DEA), 또는 트리에타놀아민(TEA)의 溶液을 넣은 圓筒에 通過, 吸收시킨다. 아민 溶液은 加熱에 의하여 再生할 수도 있다.

또한 分子체 亦是 使用할 수 있다.

다. 塵埃, 潤滑油, 重炭化水素 등의 除去

塵埃, 潤滑油, 重炭化水素 등은 遠心分離器를 使用해서 物理的으로 除去할 수 있다.

라. 分子체에 의한 處理

LNG 工場에서 分子체제를 利用하여 液化 가스의 不純物을 除去하는 傾向이 增加一路에 있는데 이 方法을 使用하면 酸性 가스(CO₂ 및 黃化物 등) 除去問題가 再生 가스의 稀釋 및 管路에 再注入하는 過程에서 同時에 解決된다는 利點이 있기 때문이다. 3個의 塔으로 構成된 分子체 方法의 液化 가스 不純物吸收器는 “그림1”과 같다.

1號塔은 吸着을, 2號塔은 加熱除去, 3號塔은 冷却을 擔當한다. 各塔은 順序대로 各 工程이 進行된다.

2. 가스의 液化

天然 가스는 各各 다른 3個의 主要 冷却週期를 거쳐서 液化된다. 即, 落下週期(cascade cycle), 修正落下週期(modified cascade cycle) 및 膨脹器週期(expander cycle)가 그것이다. 落下週期는 一連의 相互連結된 여러 개의 冷凍機로 構成되어 있어 天然 가스의 溫度를 漸次的으로 降下시킴으로써 冷却시킨다. (“그림2”參照) 冷媒로는 프로판, 에틸렌 및 메탄이 使用된다. 修正落下週期는 이러한 冷媒들을 混合 使用하는 單一冷却裝置가 使用된다. (“그림3”參照)

膨脹器週期에서는 管路가스를 터어빈 原動機를 통해 高壓으로 加壓함으로써 가스의 溫度를 低下시키는 것이다. (“그림4”參照) 大部分의 LNG 工場에서는 所爲 boil off gas라고 하는 貯藏中에 蒸發하는 天然가스를 再液化하며, 이를 再液化하지 않을 때에는 管路를 통한 供給을 하든지 또는 當該工場의 燃料로 使用한다. 貯藏탱크는 1日 蒸發量 即, boil off gas가 0.1% 以下가 되도록

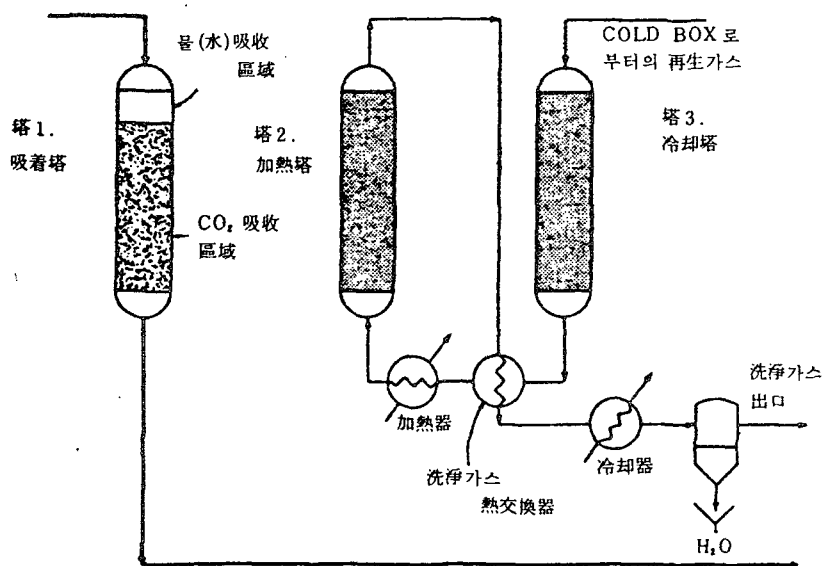


그림 1. 3塔 分子체 豫備淨化器

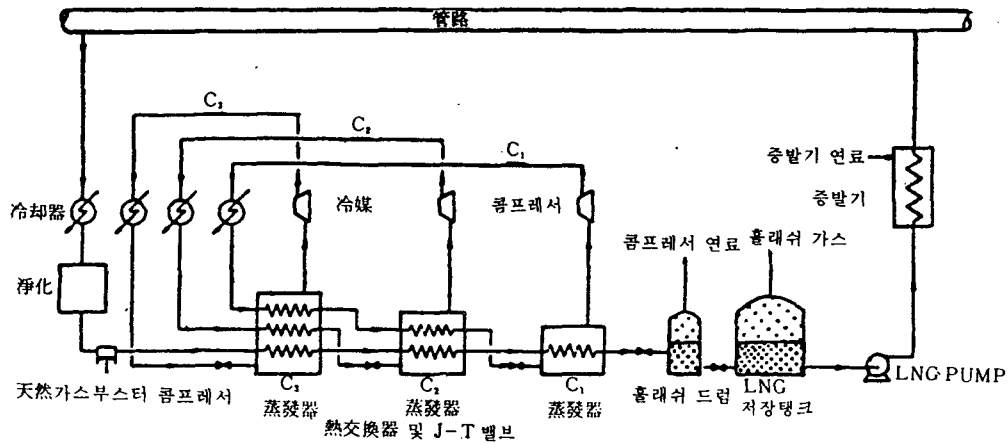


그림 2. 표준 낙하 주기(3가지의 밀폐환을 이용한다)

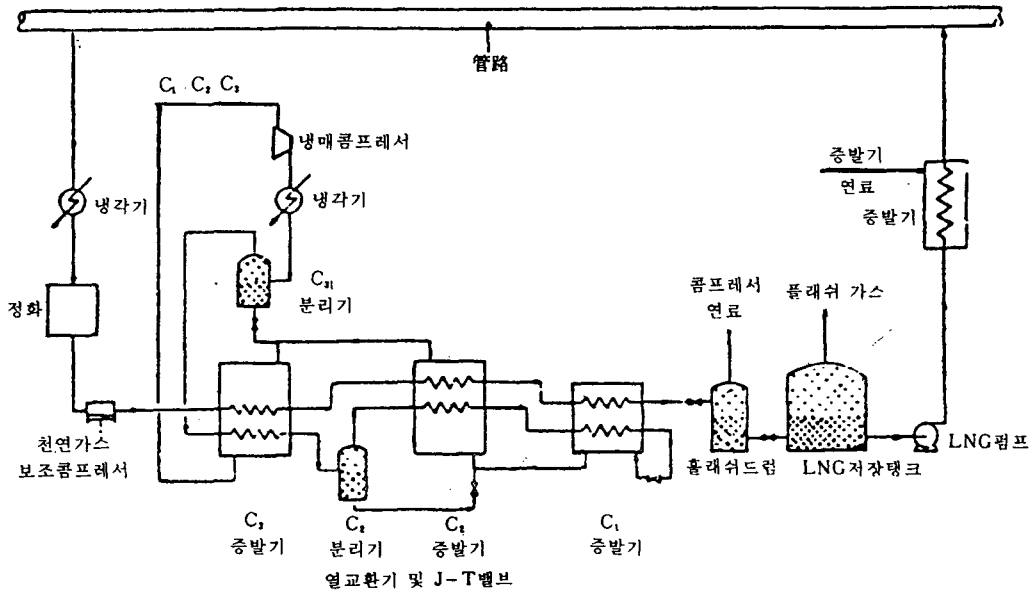


그림 3. 相互混合이 가능한 液相冷媒 混合物를 이용한 自動冷凍落下週期

遮蔽하는 것이 正常이다.

3. LNG의 貯藏

LNG는 低壓 二重壁 金屬 탱크나 Prestressed 또는 Post-tensioned 콘크리트 탱크에 貯藏한다. 衛星工場은 대개 200psi(1,379kpa, 13.8bars)까지 加壓된 球形 또는 圓筒形 탱크에 貯藏한다. 現在 大規模 LNG 施設에서 使用하는 貯藏탱크는 大部分이 二重壁 金屬탱크이다. 탱크의 內側壁은

니켈과 鐵의 合金板 또는 알루미늄板으로 되어 있으며 外側壁은 炭素鋼으로 되어있다. 이러한 탱크는 대개 內外側壁 사이에 Perlite로 된 斷熱 施設을 가지고 있다. 그리고 斷熱層에는 메탄가스를 넣는 것이 大部分이다.

Prestressed 콘크리트 탱크는 單一壁 또는 二重壁으로 된 圓筒形으로 하며, 폴리우레탄 또는 Perlite 같은 것으로 內部斷熱設備를 設置한 地上 施設이다. 옹기나 또는 두꺼운 第2 콘크리트 壁

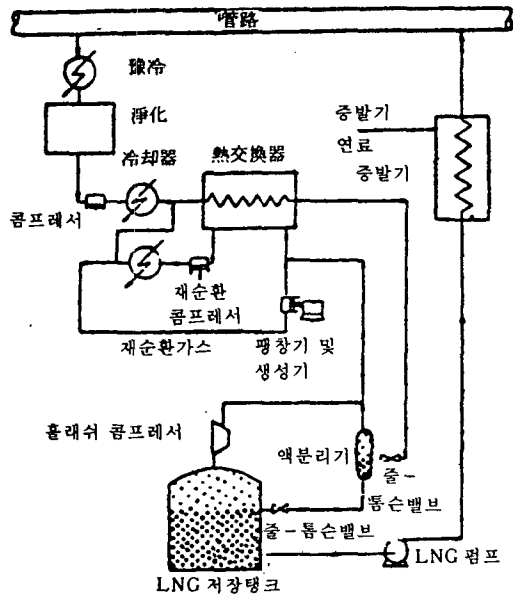


그림 4. 고압 팽창 사이클

으로 保護한 Prestressed 콘크리트 탱크들이 많이 設置되었다. post-tensioned 콘크리트 탱크는 內部를 스테인리스鋼으로 하고 또 그 위에 即, 外部는 플라스틱으로 遮斷되어 있으며 또 그 위에 Post-tentioned 콘크리트 탱크를 옹기 물질로 다시 싸서 多量 補強하는 것이 보통이다.

4. LNG의 氣化

LNG 作業의 最終段階는 貯藏施設에서 液化 가스를 氣化裝置에 泵어 올려 氣化시킨 다음 가스 管路에 投入시키는 作業이다. (“그림5” 參照) 이에 使用되는 氣化器의 種類는 여러 가지가 있

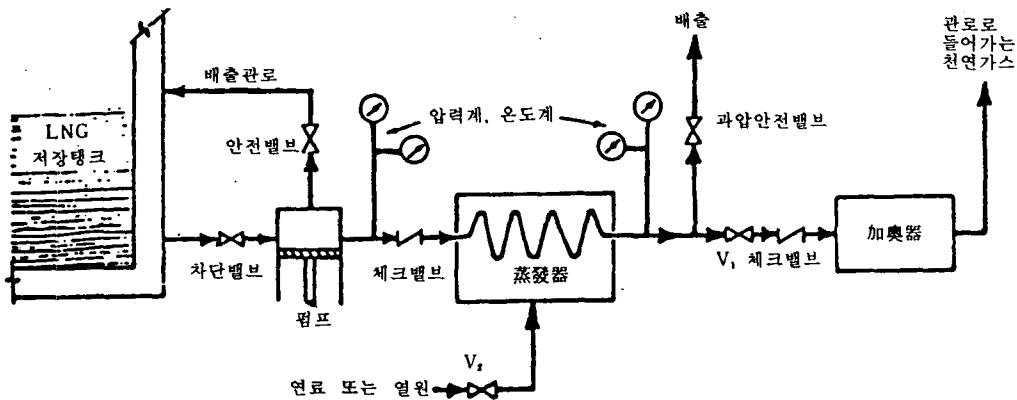


그림 5. 표준증발시설의 개략적인 흐름도

는데 그중 代表的인 몇 가지를 列舉하면

- (1) 加熱氣化裝置(heated vaporizer)
- (2) 自然環境熱利用氣化裝置(ambient vaporizer)
- (3) 工程熱利用氣化裝置(Process vaporizer)로 區分할 수 있다.

가. 加熱氣化裝置

熱의 源泉을 燃料의 燃燒, 電力 또는 보일러나 內熱機關의 廢熱에서 얻는 裝置이며 이것은 熱源直結加熱方式과 遠隔熱源加熱方式으로 區分할 수 있다.

나. 自然環境熱利用氣化裝置

自然環境熱利用氣化裝置는 大氣, 海水 또는 溫泉 같은 地熱, 即 自然的으로 發生하는 熱源을 利用하는 것이다. 그러나 自然環境에서 發生하는 熱일지라도 溫度가 212F(100℃) 以上일 때에는 이것을 遠隔熱源加熱로 區分하게 된다.

다. 工程熱利用氣化裝置

工程熱利用氣化裝置는 어떤 熱力學的 또는 化生的 工程으로부터의 熱을 利用하는 氣化裝置, 혹은 LNG의 保存이나 冷却時 얻을 수 있는 熱을 利用하는 氣化裝置를 말한다.

IV. LNG 施設에 隨·伴되는 諸危險

1. 漏出에 의한 危險

LNG 施設에 있어서의 1次的인 危險乃至 問題는 LNG가 不意에 漏出될 수 있다는 것이다. LNG 以外的인 引火性 가스 및 液體 亦是 取扱送中 漏出事故가 發生하고 引火되는 境遇가 많지만 이와 같은 突發的인 漏出은 移送管路의 破損, 處理

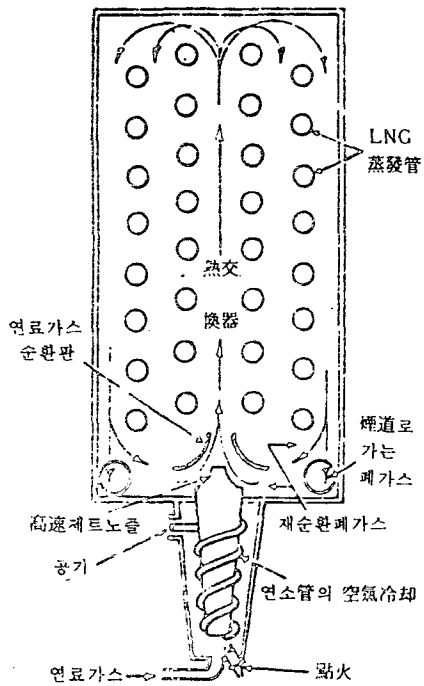


그림 6. 直火對流熱交換器斷面圖

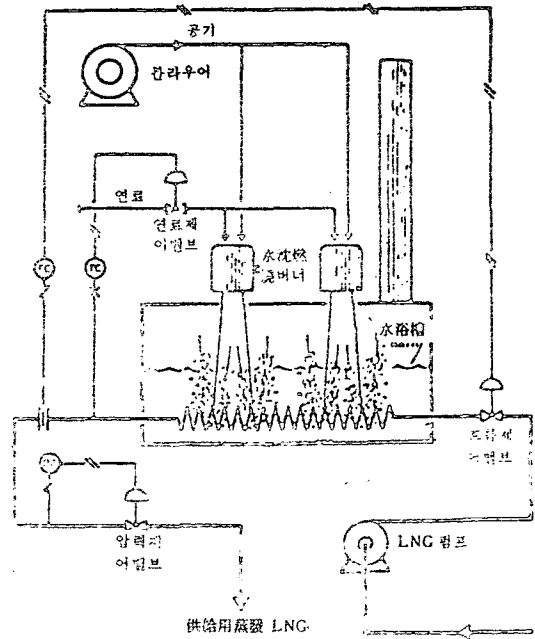


그림 7. 水洗燃氣 LNG 蒸發器

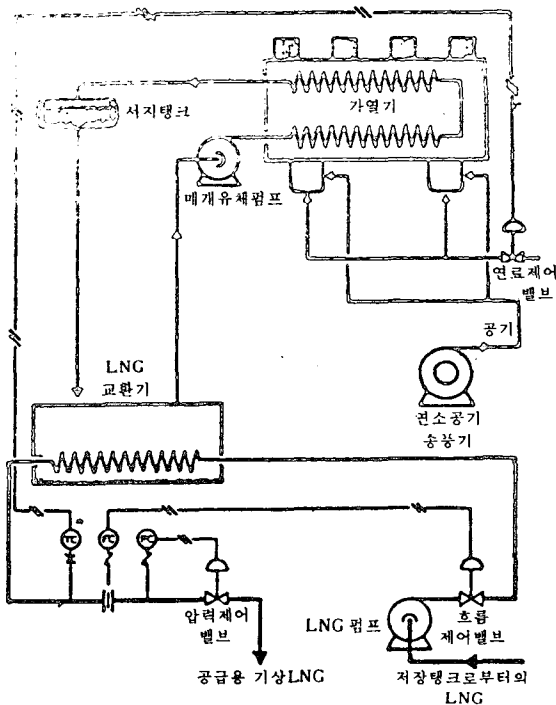


그림 8. 媒介流體를 이용한 LNG 증발기

工程設備의 動作不良 및 貯藏탱크의 故障에서 비롯되는 것이다. LNG는 引火性 低溫流體이다. 小量의 LNG도 氣化하면 引火性이 強한 大量의 氣體로 變하며 極度로 冷却된 LNG는 普通의 으로 널리 使用되는 構造材들을 깨지거나 부서지기 쉬운 狀態로 만든다. "表1"에 LNG에 重要的 物理的, 化學的 性質을 提示하였다.

LNG의 湧出時 發生하는 蒸氣의 移動은 湧出의 規模와 氣化率에 따라 다르겠지만 100~200 m에까지도 이를 수 있다. 普通의 境遇 대개 肉眼으로 볼 수 있는 蒸氣雲(moisture cloud)이 形成되지만, 눈으로 볼 수 있는 蒸氣圈外까지도 引火性이 強한 無色無臭의 引火性 天然 瓦斯와 空氣의 混合物이 퍼지게 되는 것이다.

2. LNG와 물(水)의 接觸

LNG를 偶發的으로 물 위에 흘리게 되면 물과 反應하여 局部的으로 猛烈한 噴起, 爆發現象이 일어난다. 이는 蒸發에 의하여 LNG가 含有하는 메탄의 量이 40%以下가 될 때까지 일어난는 物理的 現象으로 보여진다. 그러나, 多量의 LNG가

표 1. LNG의 一般特性

Composition	
Methane	83.99%
Ethane	1.13%
Propane	0.1.3%
Butane	0.2.1.0% - - - -
Physical Properties	
Normal boiling point	minus 255 to minus 263°F (minus 160 to minus 164°C)
Density liquid at nbp	3½ to 4 pounds per gallon
Density vapor at nbp (compared with air at 70° F)	1.47
Liquid to vapor expansion	600 to 1 to
Heat of vaporization	220-248 Btu/pound (770-990 Btu/gallon)
Theoretical vaporizing capability of 1 cubic foot of :	
Dry earth	6 gallons LNG
Wet earth	20 gallons LNG
Water	24 gallons LNG (1 gallon water = 3.2 gallons LNG)
Air	0005 gallon LNG
Initial vaporization rate of LNG spill on solid surface - 10 cfm	
vapor per square foot of LNG surface area	
Initial vaporization rate of LNG spill on water - 700 cfm	
vapor per square foot of LNG surface area	
Steady-state vaporization rate of LNG spill - 1 cfm vapor per	
square foot of liquid surface (1-foot-deep pool evaporates in 10 hours)	
Combustion Properties	
Flammable range	5.14% (methane at normal temperatures) 6.13% (methane near minus 260° F)
Heat of combustion	22,000 Btu/pound
Burn rate, steady-state pool	0.2-0.6 inch per minute
Pool fire flame height - 3times base dimensions of pool (slight wind)	

물과 反應하여 눈에 띄게 過壓이 發生되는 것과는 다른 것이다.

V. LNG 施設에 있어서의 主要 留意事項

다음에 記述하는 事項들은 詳細하고도 雜多한 "LNG 施設의 安全基準" 중 FM(Factory Mutual System)에서 특히 強調하는 事項들이다. 勿論 些少한 守則이나 施設基準들이라 할지라도 지켜서 安全을 圖謀하여야 하겠으나 적어도 여기에 技術되는 事項들은 반드시 지켜야 할 重要事項이라 하겠다.

LNG 施設에 관한 基準中 가장 權威있고 信賴할 만한 것으로는 NFPA Code No.59A "液化天然 가스(LNG)의 生産, 貯藏 및 取扱에 관한 基準"이라 하겠다. FM에서도 LNG에 관한 基準은 NFPA基準을 거의 準用하고 있는 實情이다.

1. 一般的 留意事項

LNG 取扱에 從事하는 사람은 LNG의 特性을 徹底히 理解하고 그 取扱上の 實祭의인 安全教育를 받는 등 完全한 訓練을 履修하여야 한다. 뿐만 아니라, 緊急對策을 包含해서 詳細한 計劃을 樹立하고 적어도 制御室에는 이를 揭示하여야 한다.

2. 防油堤의 設置(Diking)

LNG 貯藏 탱크에는 防油堤를 設置하거나 그 周圍에 貯油施設을 設置하여야 한다. 70,000갤런(265m³) 이상의 容量을 가진 LNG 貯藏탱크는 하나 하나 別途로 防油堤를 設置하거나 貯油施設을 設置하여야 한다. 貯油施設을 設置하는 部分의 面積은 적어도 最大의 LNG 貯藏탱크의 容量을 收容할 수 있는 容量이 될 수 있어야 한다. 貯油施設은 LNG 處理工程, 氣化工程 및 移送施設등에 모두 設置하여야 하며 이러한 貯油施設의 容量은 LNG, 引火性液體 또는 引火性冷煤가 事故로 인하여 漏出되었을 境遇, 적어도 10分間에 걸쳐서 放出되는 容量을 收納할 수 있는 容量이어야 한다.

3. 貯藏 탱크의 位置 및 配列

LNG 貯藏 탱크는 “表2”에 나타난 바와 같은空地距離 以上の 空地를 保有하여 設置하여야 한다.

또한 防油堤 및 貯油地域의 位置는 다음의 公式에 따른다.

$$d = 0.8\sqrt{A}$$

d: 貯藏탱크에서 탱크가 位置한 地域의 周邊境界線까지의 距離, 또는 防油堤나 貯油施設로부터 貯藏탱크 施設이 아닌 어떤 重要한 工場建物까지의 距離.

A: 防油堤의 表面積 또는 貯油施設의 面積(LNG 貯藏 탱크의 占有 面積을 包含한다.)

표 2. LNG 貯藏탱크의 위치

Storage Tank Capacity	Minimum Separation Distances	
	From tank to property line which may be built upon or any important plant building not associated with the LNG facility	Between any two adjacent tanks
30,000 gallons (113.5m ³) or less	50 feet (15m)	5 feet (1.5m)
30,001-70,000 gallons (113.5-265 m ³)	75 feet (23m)	10 feet (3m)
Greater than 70,000 gallons (265 m ³)	0.7 times the tank diameter, but not less than 100 feet (30.5 m)	¼ the sum of diameters of adjacent containers, but not less than 25 feet (7.5m).

4. 貯藏 탱크 連結配管

注入 및 排液配管은 貯藏탱크 上部에 連結하여 設置하는 것이 바람직하다.

탱크 下部에 配管을 連結할 때에는 shut off valve를 設置하여 外部에서 操作 可能하도록 해야 한다.

5. 氣化器와 工程機器의 位置

70,000갤런(265m³)을 超過하는 LNG 貯藏 탱크에 附設된 氣化裝置는 周邊境界線 또는 LNG 施設과 無關하게 設置된 重要한 工場建物과 最小限 100피트(30.5m) 以上の 距離를 離隔하여 設置하여야 한다. 70,000갤런(265m³) 以下 容量의 LNG 貯藏탱크에 附設된 氣化裝置는 周邊境界線 혹은 LNG 施設과 無關한 重要工場建物에서의 離隔距離의 決定은 “表2”에 의거해야 한다. 氣化裝置의 크기는 이것이 附設되는 LNG 貯藏 탱크의 크기에 相當하도록 考慮하여야 한다. 또한 熱源直結式 加熱氣化裝置는 다른 LNG 工場 施設 및 器機로부터 最少限 50피트(15m) 以上 離隔해서 設置해야 한다. 熱源直結式加熱氣化裝置는 그 熱源이 燃料의 燃燒, 電力 또는 보일러나 內熱機關의 廢熱 등이다. 熱源은 氣化器에 있어서 絶對不可決한 要素인 것이다. 多重氣化器를 設置할 境遇에 있어서는 氣化器 相互間的 距離를 最少限 15피트(4.5m) 以上으로 하여야 한다. 工程裝置는 그 位置周邊境界線, 其他 LNG工場 施設 및 器機 혹은 LNG 施設과 無關한 重要工場 建物로부터 最少한 50피트(15m) 以上 離隔하여 設置하여야 한다.

6. 防護對策

LNG 貯藏 容量이 70,000갤런(265m³)을 超過하는 貯藏 탱크 施設에는 可燃性蒸氣探知器가 LEL의 10%에 到達하면 即刻警報를 울리도록 設計製作된 警報回路를 設置하여야 하며 아울러 工場全般에 걸쳐(氣化器, 壓縮機, 貯藏탱크通氣管, LNG 移送地域等) 戰略적으로 火災感知器를 設置해야 한다. 콘트를 립은 그 狀況에 따라 積極的인 防護對策을 講究하여야 한다. 70,000갤런 以上되는 容量의 貯藏탱크를 가지고 있는 LNG 施設에는 fixed monitor nozzle을 設置하여 貯藏 탱크 表面을 監視하여야 하며, 充分한 個數의 消火 호스를 併設해서(每monitor nozzle 마다 最少 1個씩의 消火栓) monitor nozzle의 支援施設이 되도록 해야 한다.

各 貯藏 탱크의 容量이 175,000 배럴 또는 7,350,000갤런(27,800m³)를 超過하는 多數의 貯藏

8 / LNG 施設의 防災對策 考察(I)

탱크를 設置한 경우에는 最少 24時間 繼續使用할 수 있는 水源이 있어야 한다. 모든 LNG 施設에 대해서는 最少한 2時間以上 繼續使用할 수 있는 水源이 마련되어야 한다. 그 밖의 모든 LNG 施設에 대해서는 最少한 2時間以上 繼續使用할

수 있는 水源이 있어야 한다. 모든 LNG 施設에는 粉末消火設備가 設置되어야 하며 특히 앞에서 말한 戰略的 要所에는 必須的으로 設置하여야 한다.

〈다음호에 계속〉