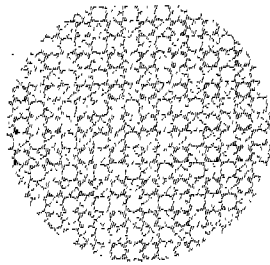


LNG 貯藏裝置와 超低温技術

LNG Storage Facilities and Cryogenic Technology



尹 在 德

韓國가스公社 技術部 技術課長

가스를 液化하여 有効成分을 분리하는 方法은 空氣液化分離方法인 壓縮자유팽창 方法과 단열팽창을 이용한 空氣液化分離의 原理를 이용하는 두가지 方法이 있다. 天然가스·液化물 工業的 규모로 발전시켜 현재는 水素가스와 헬륨가스를 理論的인 0℃ (-273℃)까지 내려갈 수 있도록 하는 超低温기술이 발달되고 있다.

이같은 기술의 발달은 宇宙항공분야에서 필수적인 로케트에도 이용되고 있다. 超低温기술에는 여러가지가 있으나 우선 LNG貯藏탱크에 관하여 설명하기로 한다.

첫째 低温貯藏方式의 特色

가스저장방법에는 많은 방법이 있으며 공급 되는 조건과 사용되는 조건으로 가스량 압력, 온도, 순도, 탱크, 설비, 운전비 등을 고려하여 저장방법이 결정되나 그 特色은 압력을 가하거나 온도를 臨界點 까지 낮추어 천연가스를 액화하면 체적이 1/600로 줄어 들므로 저장 수송에 管理費가 저렴하고 초저온 저장으로 안전성과 낮은 비용으로 대량을 저장할 수 있는 동시 地面을 效率的으로 利用하는長點이 있다.

둘째 LNG탱크 형식 결정 때에는 안전 및 보안조건을 감안, 지하의 지질형태, 지상의 지형지물형태, 인근지역환경조건을 감안해 지하탱크, 지상탱크, 철재탱크, 콘크리트탱크, 방액제 형식등이 결정된다.

셋째 탱크設計시에 일반적으로 고려할 사항은 LNG의 수송은 72,000~130,000m³의 용량으로 수송되기 때문에 輸送船의 船積量을 引受할 수 있는 용량과 LNG船은 LNG外에 사용할 수 없으므로 선박의 割與 運航이 제한되어 선박의 入港頻度, 해상의 기후조건, 선박의 수리보수기간, 계절별의 수요변동을 감안하여 탱크기수 용량을 결정한다.

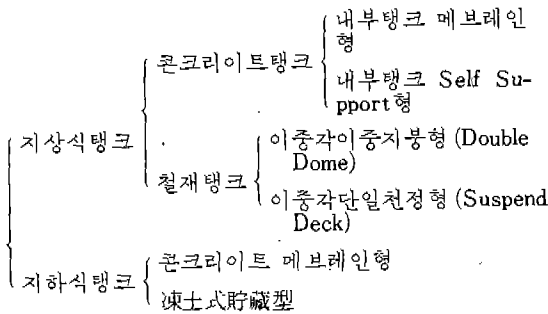
넷째 탱크가 갖추어야할 중요기능은 저장액의 누출방지, 저장액체에 입열을 최소한으로 방지할 수 있는 설비 외에도 Roll Over 방지설비(Roll Over 방지란 고밀도 LNG와 저밀도LNG가 탱크내에서 밀도와 온도 차이가 발생할 경우 갑자기 LNG 스스로 교반 혼합되어 突沸現象을 일으켜 대량 가스를 발생시키는 현상을 말함)와 탱크내부의 壓力을 감시

및 설비의 안전을 제어할 수 있는 설비를 갖추어야 한다.

중 Dome형을 많이 건설한 나라는 일본이고 철재 탱크 건설실적은 아래와 같다.

II. LNG 저장탱크 種類 및 構造

LNG 탱크의 種類를 大別하면 아래와 같다.



日本에서 稼動中인 二重殼 LNG 탱크

會社名	基地名	容量	탱크수	内部탱크材質
東京가스	根岸基地	25,000	1	Al
		45,000	1	9 Ni
		35,000	2	9 Ni
		소메가우라기지	45,000	4
		60,000	5	Al
中部電力	知多LNG공동기지	75,000	4	Al 2대 Ni 2대
大阪가스	泉北第1, 2工場	45,000	3	Ni 3대 Al 1대
		75,000	10	Ni 7대 Al 3대
關西電力	姫路LNG基地	80,000	3대	Ni 2대 Al 1대
		40,000	1대	Al 1대
北九州 LNG	戸畑基地	60,000	6대	Ni

1. 철재탱크

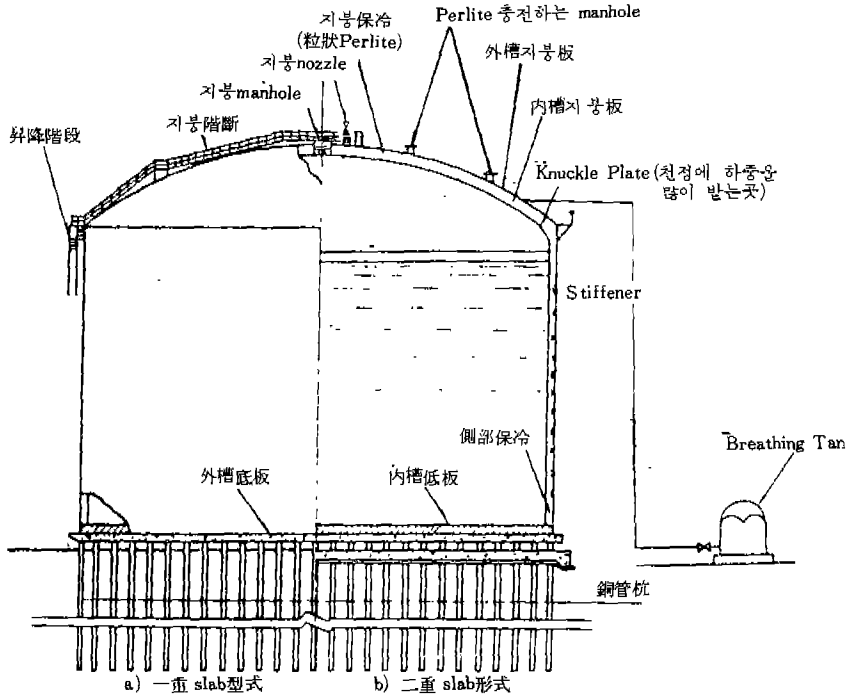
철재 탱크중에는 이중 Dome형 외각탱크 지붕에 내부탱크를 매어달아 놓은 Suspend Deck型 탱크가 있으나 地震이 적은나라와 보안문제가 적은 나라에서는 Suspend Deck型을 使用하고 지진이 많은 나라는 철재 이중 Dome형을 많이 사용하고 철재 이

저장탱크의 내부탱크材料를 選定할 때는 材料의 低温特性 貯藏容量當의 材料價格 製造可能材料의 크기, 熔接性, 加工性 등을 比較 檢討하고 LNG用的 超低温材料로서 내부탱크에 使用되는 것은 Aluminum 合金, 9% Nichel Austenite系의 Stainless 鋼 3種類가 있다.

各國의 鐵製 LNG 탱크

國名	所有會社	Site	容量(kℓ)	基數	内槽材
England	British Gas Co.	Canvey Island	62,000	1	Al
France	Gaz de France	Le Havre	12,000	3	9 Ni
		FOS	36,000	2	Al
			46,000	1	9 Ni
Spain	Enagas S. A.	Barcelona	80,000	1	9 Ni
Italy	Snam (ENI)	La Spezia	50,000	2	9 Ni
Nederland	NV. Nederlandse	Groningen	80,000	3	9 Ni 外槽concrete
Germany	Flussigerd Gas	Wilhelmshaven	60,000	4	9 Ni 外槽concrete
America	Algonquin LNG	Providence	95,000	3	9 Ni
	Columbia LNG	Cove Point	60,000	4	Al
	Distri Gas	Everett	95,000	1	9 Ni
			60,000	1	9 Ni
	EL Paso LNG	Texas	100,000	3	9 Ni
	Natural Gas Pipe Line	Texas	100,000	3	9 Ni
	Southern Energy	Elbalsland	64,000	3	Al
	Trunkline LNG	Lake Charles	95,000	3	9 Ni
Western LNG Terminal	리틀크로포	87,000	3	9 Ni	
Belgium	Distrigaz	Zee Bruge	60,000	2	9 Ni

〈그림-1〉 平底二重殼円筒貯槽



材料의 特性

材 質	平均熱膨脹 係數 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (35~162 $^{\circ}\text{C}$)	引張強度 kg/cm^2	降伏點 kg/cm^2
9%Ni鋼	9.7	70.3	59.8
Al合金	19.1	≥ 28	≥ 13
Stainless 鋼	14.0	≥ 53	≥ 21

● 내부탱크의 構造

내부탱크 벽은 (Inner Shell) LNG壓과 가스壓에 依해서 發生하는 탱크둘레방향의 應력이 지배적이 된다. 그러나 가스壓과 저장탱크 自重이 加해져서 發生하는 軸方向應력과 上部의 Knuckleplate, 下部의 Annular Plate에 依해서 그힘이 좌우됨에 따라서 생기는 접속점의 구부림응력 또는 가스압에 의해서 내부탱크벽이 위로 부상하는 것을 방지하는 Anchor 附着部 近方の 벽에서 發生하는 局部應力等を 분석해서 內壓에 대한 벽철판의 安全性을 확인할 必要가 있다.

내부탱크의 벽철판은 내외탱크사이의 질소가스壓 퍼라이트壓等の 外壓 및 내부탱크壓이 負壓이 됐을 때를 고려해서 설계할 必要가 있다. 이런 外壓을

적계하기 위하여 단연재 퍼라이트 충격(느림)을 막는 다이프램을 설치해서 퍼라이트壓이 直接 내부탱크 철판에 작용하지 않도록 하든가 Blanhet 의해서 누리는 壓力을 방지함과 동시에 必要에 따라서 環狀의 Stifferer를 設置한다.

Knuckle Plate는 탱크 벽철판상부와 탱크지붕(Dome)을 연결하는 部材로서 內壓에 지붕의 荷重에 따라서 縱方向에는 引張應力, 둘레방향에는 壓縮應力이 작용한다. 일반적으로는 둘레방향의 壓縮應力이 크기때문에 이應力에 對하여 安全하도록 Knuckle 프렛 두께를 決定한다.

● 내부탱크 지붕철판

지붕에는 가스內壓 作用과 自重힘이 作用된다. 지붕철판의 두께와 材質, 지붕半徑, 가스壓等に 따라 다르지만 8~12% 程度가 사용되며 지붕部에는 벽철판과 마찬가지로 지붕 自体重量, 퍼라이트等 保冷材重量, 내외 탱크의 +, -壓力 等の 内外部에 대하여 充分히 내구력을 갖는 構造가 되어야 한다.

탱크바닥 Annular-철판(그림-2)

바닥철판에는 液壓, 가스壓이 작용하지만 바닥을

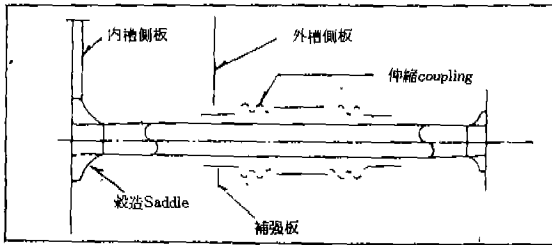
받치는 基礎의 不等沈下가 없는한 發生應力은 적어 液을 누설방지 목적으로 6~8% 철판을 사용한다.

Annular (그림 3) 철판은 벽철판과 바닥철판과의 용접시공시 비틀림과 構造上 생기는 局部應力을 처리키 위하여 1.5~2배의 두꺼운 철판을 사용한다. 또한 Annular 철판은 벽과 바닥의 용접부에는 어떠한 경우에도 Bending 모멘트가 발생하므로 용접부의 액압의 변동 지진하중에 대한 강도 검토를 충분히 하여야 된다.

●引出配管

인출배관의 일반적인 形狀은 아래 그림 2 같다.

(그림-2)



내부탱크가 온도, 압력의 변화에 의하여 膨脹, 收縮을 反復하기 때문에 과거에 사고가 많은 부분이었으나 현재는 내외부 탱크간에 상호變位가 생겨도 충분히 신축력을 흡수할 수 있도록 벨로형 신축커프링을 사용하고 그림에서 ㉔부위에 Saddle설치 응력에 對應할 수 있도록 되어 있다. 그밖에도引出 배관이 외부탱크의 통과시의 단열, 방습문제도 고려되어야 한다. 근대에 와서 이런 문제와 인출관의 사고시 LNG가 누설되므로 이를 방지키 위하여 LN G탱크 인출배관 탱크천정으로 판동하게 설치 사용

되고 있다.

●외부탱크 構造

외부탱크는 내부탱크와는 별개로 自立된 構造로써 自重風荷重, 雪荷重, 地震荷重에 견디고 더욱이 보냉재인 퍼어라트를 지탱할 수 있음과 내부 탱크의 대기압변동에 대응할 수 있는 封入 질소가스를 維持할 수 있는 구조가 되어야 하고 내부탱크, 외부탱크의 지붕을 저장 탱크벽 철판공사와 동시에 외부탱크바닥에서 외부탱크벽을 Guide로 하여 탱크지붕을 浮上하는데 이용되고 또 내부탱크 組立時에는외부탱크의 크레인의 支持點으로 利用되므로 이런점을 고려하여 설계를 하여야 한다.

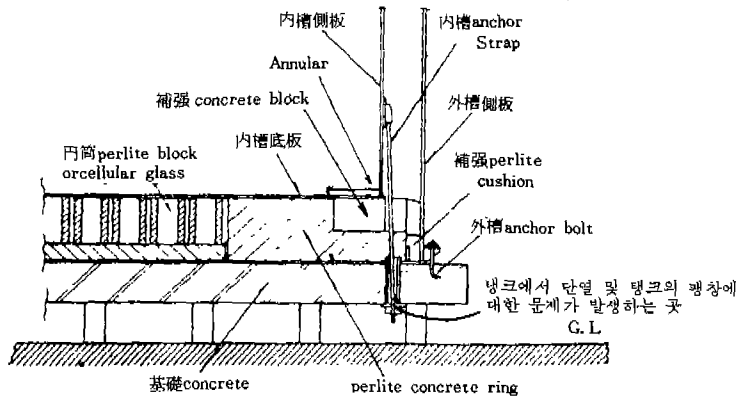
●단열재

탱크벽과 지붕 또 천정에는 斷熱性이 대단히 좋고 自重이 가벼운 퍼라이트를 충전하는 것이 일반적이다. 이 材料는 吸濕性이 있기 때문에 보관시에 乾燥狀態로 유지하여야 하고 내외탱크사이에 건조 질가스를 대기압보다 약간 높게 주입하여 대기습기 흡이 되는 것을 방지할 수 있도록 그림 1과 같이 Breathing Tank를 設置하여야 한다. 한편 탱크 바닥의 보냉재는 단열성이 요구됨과 동시에 저장탱크의 총량 액하중, 가스壓 지진시의 荷重에 對應하기에 充分한 強度를 가져야 한다.

특히 내부탱크의 벽철판의 직하부에는 큰 荷重이 作用하기 때문에 強度가 높은 保冷材가 필요하여 荷重이 크게 作用하는 곳은 퍼라이트콘크리트나 (그림 3 참조) 셀류라폼라스를 사용하고 Annular 철판 위에는 내부탱크 바닥철판의 수축팽창을 받아들 수 있는 친목을 넣어준다.

(그림-3)

平底二重殼內筒貯槽의 Corner 細部擴大圖



● **耐震設計**

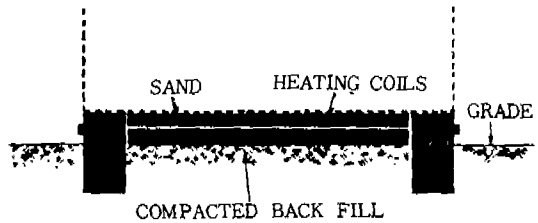
저장탱크의 **耐震設計**는 最近 動的解析을 많이 행하고 저장탱크를 想定한 모델化를 만들어 저장탱크 부지에 相当하다고 생각되는 지진기록과를 입력하고 저장탱크의 應答變位, 應答速度, 加速度等을 求한다. 지진관 모델화할 때에는 지표면에 입력과를 주어서 지상부분만을 解析하는 경우와 지반에 입력을 주어 지반을 포함한 應答 해석을 하는 경우가 있다. 포토층이 두꺼워 탱크의 파일이 암반에 고정치 않을 경우에는 지표면의 입력과를 주어 應答된 解析을 이용도 한다. 따라서 저장탱크 각부의 強度가 充分히 安全하도록 設計할 需要가 있다. 일반적으로는 지진해석자료는 100년 정도기록을 참고한다.

● **탱크基礎**

탱크의 基礎는 탱크를 安全하게 유지함과 탱크바



닥地盤의 凍土를 防止할 수 있는 構造로 하여야 한다. 단일 LNG 漏出時에 母材가 급냉되어도 탱크에 심한 損傷이 생기지 않는 구조로 한다. 構造形式은 아래 그림 3 과 같이 高床式 基礎와 탱크바닥의 스라브를 지면과 直接 접촉하는 直接基礎로 差別되지만 日本에서는 前者를 많이 이용하고 있고 근래에는 後者의 이용빈도가 적다. 高床 直接基礎의 特徵은 高床은 基礎스라브를 파일위에 올려 놓고 지표면과 스라브간에는 80~100cm程度의 空間을 設置凍土防止를 한다. 파일은 강관파일과 케이슨파일이 있는데 지진이 많은 나라는 강관 파일을 사용하고 지진이 적은 나라는 케이슨파일을 많이 사용한다. 直接基礎는 基礎의 地盤이 좋은 경우 直接基礎를 하고 기초 스라브에 凍土防止를 위한 電熱式, 溫水式을 설치한다.



2. **地下式 저장탱크**

지하식 탱크라함은 液化가스의 最高液面이 地面 이하에 있고 또한 埋設된 部分이 주위의 地盤에 接하는 본체(벽체) 지붕, 멤브레인 保冷, 其他設備로 구성되어 있다. 英國 및 알제리아에서 建設된 凍結土 및 지붕만으로 구성되어 있는 凍結土方式을 제외하고 콘크리트제의 탱크벽, 바닥, 지붕 보냉층으로된 지하식 대하여 설명한다.

지하식 저장탱크는 대부분 지반면 아래에 매설하기 때문에 주위경관을 해칠 일이 적고 또한 만일의 災害時에도 液이 地上에 流出되지 않는 特徵을 가지고 있다. 탱크벽은 일반적으로 콘크리트로 만들어져 土壓, 지하 水壓등의 荷重을 견딜 수 있는 구조이고, 지붕은 탱크벽의 상부에 設置되어 주로 저장탱크 상방의 氣密을 유지한다. 내부탱크는 금속멤브레인이 많이 사용되어 LNG누출을 방지하고 벽콘크리트와 멤브레인 간에는 경질우레탄, PVC Foam 등의 保冷材를 붙여 外部로 부터의 入熱을 막아 주고 있다. 構成部材는 各各 -162℃의 LNG를

저장하는데 충분한 내구력을 갖는 材質 및 構造이고 철근콘크리트도 저온특수성에 대단히 우수한 것으로 시험이 입증되었다.

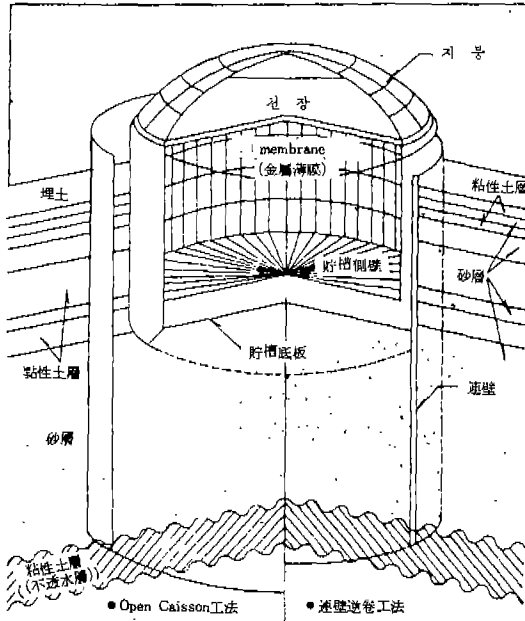
지하식탱크는 日本에서 많이 개발, 이용하고 있으며 그구조는 아래 그림 4와 같다.

● **지하탱크벽構造形式**

탱크벽은 주변지반으로부터 水壓土壓을 계속해서 견딜 수 있게 構築된 대형구조물이기 때문에 建設地의 地盤條件, 施工條件, 工期 및 가격등을 고려해서 하여야 한다.

탱크벽 시공에는 지하수에 의해서 揚壓力을 받으므로 탱크의 바닥콘크리트는 100% 지하수 壓力에 의한 탱크의 부력을 막을 수 있는 구조로 하고 탱크바닥의측에서의 침투를 막기 위한 물排氣 설비를 하여 지하수의 압력을 저장도 한다. 탱크본체에 보냉층이 있어도 지하탱크바닥은 수년후에는 凍結현상이 일어나기 때문에 이를 방지키 위하여 지상 탱크의 직접기초매와 같이 동결방지 可熱設備를 설치한다.

〈그림-4〉 13萬kℓ LNG 地下式貯槽構造圖



LNG 지하식 탱크의 실적

會社名	基地名	容량kℓ	基數	材質		
東京가스	根岸	10,000	1	켄브레인	東京電力 用포함	
		60,000	1			
		95,000	4			
	袖ヶ浦	60,000	9			"
		62,000	1			
		58,000	1			
		90,000	1			
130,000	3					
東京電力	東扇島	60,000	6	"		
大阪가스	泉北	45,000	1	"		

지하탱크의 設計上의 留意點은 다른 탱크와 같이 설계 및 使用材料에 대하여 低温의 영향 고려와 地盤의 凍結을 許容하느냐 非凍結型으로 할 것인가 등의 판단과 토양의 동결특성 검토, 내부탱크 지붕設計施工上 관계부분, 精密度 熱條件 變形等에 대하여 특히 檢討가 필요하다.

실제의 許容應力 및 荷重은 탱크본체의 設計최저 온도와 형식에 따라서 다르지만 $-40\sim 100^{\circ}\text{C}$ 程度가 된다. 콘크리트 및 철근의 강도특성은 저온이 될수록 증대되므로 콘크리트의 耐力도 向上된다.

그러나 현재의 設計法은 許容應力度法을 기초로하여 常溫設計의 허용응력 값을 사용할 것을 원칙으로 하고 있으며 저온상태에서 작용하는 동결土壓 및 온도하중을 고려할 경우에는 콘크리트의 설계 기준 強度가 增加한다. 저온특성이 인정되지 않는 재료는 저온특성시험을 하고 사용한다.

設計荷重을 考慮하는 하중으로서는 自重가 土壓, 地下水壓, 凍結土壓, 溫度荷重, 지붕荷重 地震時 경향하중, 施工時荷重이 있다. 水壓은 地層狀態가 均一하여도 일반적으로 10~20% 程度의 偏土壓을 고려한다. 荷重組合의 경우는 平常時, 地震時 및 滿탱크時를 각각 고려하여 內壓이 커지거나 外壓이 커지는 경우等 생겨날 수 있는 모든 荷重組合에 대하여 各斷面이 安全하도록 검토하여야 한다. 탱크本體는 탱크벽과 탱크바닥이 연결됨이 없는 분리 공법이므로 탱크본체벽과 탱크의 바닥스라브는 Sealing판을 사입하고 있다. 탱크본체콘크리트는 측벽과 바닥스라브로 나누어 벽은 원동형 Shell 구조로 해석하고 있다. 해석에는 Shell 주위 지반의 彈力性을 고려하여 偏載를 필요로 하는 偏土壓 지진시 영향하중등은 양쪽의 壓力을 받거나 또는 한쪽만의 壓力을 받는 것으로 적용하고 彈性條件이 매우 복잡해서 계산방법이 많으므로 일반적으로 Fixed Ending Moment 解析法이 利用된다. 탱크바닥은 構造形式에 따라 고려하는 荷重 또는 設計法도 달라진다. 強度板式의 경우는 揚水壓(지하수압에 의하여 탱크가 부상한 힘)이 본체전체에 作用함으로 揚壓力(부력)에 대비하여 본체중량이 충분하여야 하며 또 탱크바닥은 揚壓動, 地盤反力, 溫度荷重에 견딜 수 있어야 한다. 設計는 바닥스라브의 상하를 작용하는 荷重의 평형을 생각하여 주변단순 지지의 원형 스라브 또는 彈性을 원관으로 하여 해석한다. 스라브두께는 5~8m로 커지게되며 溫度分布도 주변부와 중심부에서는 差異가 생기므로 一般的으로 Fixed Ending Moment으로 해석하고 있다.

〈다음호에 계속〉