

## ASME section VIII div.2에 따른 LNG저장탱크 코너프로텍션의 설계개념 고찰

†김 형 식 · 홍 성 호 · 서 흥 석 · 양 영 철  
한국가스공사 연구개발원  
(2001년 9월 3일 접수, 2001년 9월 27일 채택)

### Design concept investigation for corner protection of LNG storage tank by ASME section VIII, Div. 2

Hyongsik Kim, Seongho Hong, Heungseok Seo and Youngchul Yang  
Center of LNG technology research center, R&D Division, Korea Gas Corporation  
(Received 3 September 2001 ; Accepted 27 September 2001)

#### 요 약

LNG저장탱크의 코너프로텍션은 단열재인 formglass와 9%니켈강 라이너로 구성되어 있으며 역할은 내조가 파손되어 LNG가 유출될 때 콘크리트 외벽 코너에 가해지는 열하중에 의한 원주방향 인장응력을 감소시키기 위한 것이다. 그러므로 이의 설계하중은 유출된 LNG에 의한 열하중과 액압하중에 의존한다.

본 논문에서는 설계하중조건으로 운전조건, 중대유출조건, 부분유출조건을 제시하였다. 그리고 이러한 설계하중조건들에서 ASME section VIII, div 2, appendix 4에 따른 코너프로텍션의 건전성을 평가하는 절차로서 위치별 응력유형을 구별하고 제시한 설계개념에 적합한 모델을 만들어 유한요소해석을 통하여 규격요건의 적합성을 검토하는 과정을 소개하였다.

**Abstract** - The corner protection which is consist of insulation and 9% nickel liner is designed to mitigate the high hoop tension at the corner of LNG storage tank by LNG leakage. So the design loads depend on thermal and liquid pressure from leaked LNG.

In this paper design conditions are suggested as operating, major and minor leak conditions. And in order to check integrity of corner protection for the design conditions by appendix 4 in ASME section VIII div.2, acceptability checking process that have stress categorization and finite element analysis is explained.

**Key words** : LNG storage tank, corner protection, ASME section VIII div.2, stress categorization, FEM

#### 1. 서 론

완전 방호식 LNG저장탱크(Full containment LNG storage tank)는 독립적인 액체저장이 가능한 내조(inner tank)와 외조(outer tank)의 이중용기로 구성되어 있다. 정상운전 시에 초저온의 LNG를 직접 접촉/저장하는 내조의 재

료로는 저온성능이 우수한 9%니켈강이 사용된다. 그리고 외조는 콘크리트 구조물로서 내조의 파손 시에 2차적으로 LNG를 저장할 수 있도록 설계되어 있다.

그러므로 콘크리트외조는 LNG유출에 의한 열하중을 충분히 견딜 수 있도록 설계되어야만 한다. 내조의 파손에 의해 유출된 LNG는

원통형 LNG저장탱크의 에놀라공간 (annular space, 내조와 외조사이의 공간; Fig. 1 참조)에 고이게 되므로 외조의 내면 코너부에서 콘크리트와 LNG가 직접 접촉하게 된다. 이때 LNG와 직접 접촉되어 있는 내부콘크리트 표면과 상온의 대기와 접해있는 외부 콘크리트 표면간에 상당한 온도구배가 발생하게 되어 콘크리트코너에 원주방향으로 큰 인장응력이 발생하게 된다.

이러한 원주방향 인장응력에 의해 발생하는 균열크기는 BS 8110에 의하면 허용결합크기인 0.2mm를 초과하는 것으로 나타났다[1,2]. 따라서 원주방향 인장응력에 의한 외조콘크리트에 균열발생을 억제하기 위해 코너부에 단열재를 시공하여 LNG유출에 의한 온도구배를 감소시킴과 더불어 인장응력에 대항할 수 있는 압축응력을 프리스트레싱 콘크리트 법에 의해 도입하는 것이 외조 콘크리트의 주요 설계개념이다[1].

여기서 내조파손에 의한 LNG유출 시에 콘크리트와 LNG가 직접 접촉하는 것을 차단하기 위해 외조 콘크리트 코너 내면에 단열재와 9%니켈강 라이너를 시공하는 구조물을 코너프로텍션(corner protection)이라 한다. 그러므로 실질적으로 LNG저장탱크 내조와 외조의 독립적인 구조물과 아울러 코너프로텍션 용기까지 포함하면 바닥에서 5m까지는 3중용기로 구성되어 있다.

본 논문에서는 용량 140,000m<sup>3</sup> LNG저장탱크에 대해 ASME Sec. VIII, div2의 appendix 4에 따라 소성설계개념을 도입한 코너프로텍션의 설계 방법을 소개하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1. 코너프로텍션의 단면도

Fig. 1.은 140,000m<sup>3</sup>의 LNG저장탱크 코너의 단면구조를 보여준다. 그림에서 보는바와 같이 9%니켈강의 내조(inner tank)와 외조 사이에는 스프링성질의 glass wool blanket과 느슨하게 채워진 perlite powder(밀도=60kg/m<sup>3</sup>)에 의해 상온과 접해 있는 콘크리트외조와 단열이 이루어져 있다. blanket은 내조의 온도변화에 따른 수축/팽창 하중을 흡수하는 기능을 수행한다. LNG가 유출된다면 이 느슨하게 채워진 perlite powder에 LNG가 침투해서 젖게 하면서 변형이 자유로운 상태가 되고 점차 액위가 상승하게 된다.

그러므로 이 -162℃ 상태의 perlite powder와 외조 콘크리트내면과의 열차단을 위해 이

들 사이에 9%니켈라이너와 formglass로 코너 프로텍션이 시공되어 있다.

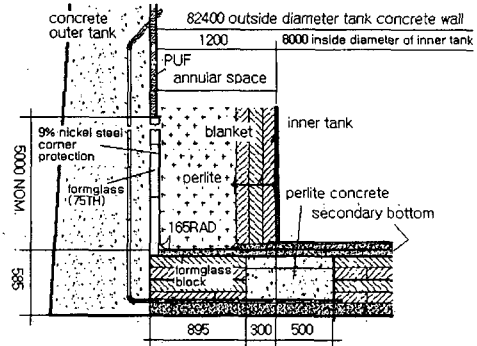


Fig. 1. Corner protection arrangement.

### 2.2. LNG유출 사고

LNG저장탱크와 같은 압력용기의 설계는 설계하중을 분석하고 이 하중들에 의한 응력의 계산에 의해 이루어진다. 코너프로텍션의 설계하중을 계산하기 위해서는 먼저 LNG 유출 사고의 종류를 결정해야 한다. 이는 LNG의 유출 정도에 따라 코너프로텍션에 가해지는 하중이 다르기 때문이다.

일반적으로 LNG가 유출되어 에놀라공간에 적재되는 액위가 코너프로텍션의 하중을 결정하는 가장 큰 요소이며 액체가 쌓여지는 속도도 코너프로텍션의 온도분포를 변화시켜 하중을 변화시키게 된다.

하지만 대부분의 경우 내조의 대파손에 의한 급격한 LNG유출보다는 소량의 LNG가 유출되어 천천히 채워지는 것을 고려하기 때문에 액위의 변화속도에 의한 온도분포영향까지는 고려하지 않는 경우가 많다[3, 4].

그러므로 액위에 따라 하중의 크기가 변하므로 설계시 다양한 액위에 대하여 하중을 고려해 보는 것이 필요하다. 하지만 Fig.1과 같이 정상운전시 내조바닥과 2차바닥이 같은 온도에 있게 설계하는 경우(내조와 2차바닥이 50mm의 콘크리트로 분리되어 있어 항상 동일 온도에 있게 됨)에 정상상태를 가정하면 하중에 미치는 라이너의 온도분포에 대한 영향이 적기 때문에 유출된 액위가 높아질수록 하중이 커지는 경향이 있다. 따라서 정상운전조건과 아울러 최대 액위 조건의 중대유출(major leak)과 부분유출(minor leak)의 설계조건을 고려하여 설계하는 것도 또한 타당하다. 중대유출이란 내조의 최대설계액위에서 대량유출에 의해

에늘라공간을 완전히 채운 후 외조와 내조의 액위가 평형을 이룬 상태를 말하며 부분유출은 코너라이너의 최고 높이에서 1m 아래까지 유출이 일어난 경우를 말한다.

본 논문에서는 코너프로텍션의 설계하중을 위에서 언급한 3가지 조건으로 하였으며 각 조건에서 고려하는 하중은 다음과 같다.

- 정상운전조건
  - 2차바닥의 열수축에 의한 변위
  - 2차바닥과 코너프로텍션에 이르는 온도 변화
  - 설계가스압력
- 중대유출
  - 바닥 및 코너프로텍션 라이너의 열수축
  - 평형액위에서의 LNG에 의한 액압
  - 설계가스 압력
- 부분유출
  - 2차바닥의 열수축에 의한 변위
  - 액위에서 상부 코너프로텍션에 이르는 온도변화
  - 설계가스압력

**2.3. 설계요소**

코너프로텍션의 설계대상으로는 단열재와 라이너의 두께이다.

단열재의 두께는 LNG유출시 콘크리트외조의 코너부의 온도분포를 결정하게 되므로 발생하는 원주방향인장응력을 좌우하게 된다. 또한 유출시 콘크리트의 온도에 따라 프리스트레싱에 사용되는 금속재질을 결정하게 된다. 만약 단열재의 두께가 얇아 콘크리트의 온도가 -50℃이하로 되면 저온용재질을 사용하게 되므로 경제성이 떨어지게 된다. 단열재의 두께는 75~250mm로 사용하며 얇을수록 콘크리트의 프리스트레싱 하중이 증가하게 된다. 이와 같은 점들이 고려되어 유한요소해석에 의해 적절한 단열재 두께가 결정된다.

일단 단열재의 두께가 결정되면 이 상태에서의 각 운전조건에 따른 하중을 고려하여 라이너의 두께를 ASME sec. VIII div.2 appendix 4의 허용응력을 고려하여 결정한다.

**2.4. ASME sec. VIII div.2 appendix 4의 소성 설계개념 및 허용하중[5,6]**

ASME section VIII, Div. 1의 설계개념에 의해 코너프로텍션을 설계하게 된다면 최대 액위하중을 받는 바닥근처의 벽체두께는 20mm 이상에 이르게 된다. 그러나 최근의 설계규격에서는 높은 허용응력을 사용하는 소성설계를 허용하고 있다. 그 대표적인 규격이 ASME

sec. VIII div.2, appendix 4이다.

설계하중과 이 하중에 의한 최대응력이 결정되면 설계자는 정량적으로 개별응력의 유형을 결정해야 하는 것이 appendix 4의 핵심내용이라 할 수 있다. 왜냐하면 모든 유형의 응력 또는 그의 조합에 동일한 안전계수가 적용되지 않기 때문이다. 예를 들어 압력부품에 내압, 무게와 같은 기계적인 힘에 의해 항복강도 이상의 하중이 걸리면 항복은 가공경화 또는 응력 재분포가 없다면 그 부품이 파괴될 때까지 계속된다. 압력용기의 설계에서 이러한 응력들을 일차응력(primary stress)이라 하고 이들의 주요특징은 변형에 의해 응력이 감소하지 않는 자체한계를 갖지 않는다는 것이다.

반면에 부재에 파이프의 열팽창에 의한 노출연결부의 벽면에 작용하는 굽힘응력과 같이 열팽창에 의한 응력의 경우에는 아주 작고 영구적인 국부변형에 의해 완화가 일어날 것이다. 이러한 응력들은 2차응력(secondary stress)이라 하고 자체한계와 자체평형화 특징을 갖고 있다.

ASME sec. VIII, div2, appendix 4에서의 주요설계개념은 1) 1차하중에 의한 외형의 지나친 뒤틀림(gross distortion) 방지와 2) 2차하중과 연관되어서는 1, 2차 하중의 합이 반복부하시 ratcheting이 일어나지 않는 조건을 한계응력으로 하고 있다.

1) 기계적하중에 의한 지나친 뒤틀림 방지  
 압력용기의 지나친 뒤틀림을 방지하기 위해서는 벽체의 완전 소성상태를 피해야 한다. 단순 원통형 또는 구형 탱크의 경우 균일한 멤브레인 응력이 규정되고 탄성-완전소성변형 이론에 의하면 멤브레인응력이 항복응력에 도달함과 동시에 벽체전면에 소성변형이 발생하는 조건이 된다. 여기에 합리적인 여유분을 적용하게 되면 최대 허용응력은  $2/3\sigma_y$ 가 된다. 하지만 형상과 구속이 복잡하여 원주방향 응력과 굽힘응력이 존재할 경우에는 허용응력 계산이 상당히 복잡해진다. ASME에서는 Fig. 2와 같은 인장력과 모멘트를 받는 사각 빔요소를 고려하였다. 만약 원통형 압력용기를 고려하면 인장응력의 방향은 원주방향이 되고 빔폭은 축방향이 된다. 여기서 원주방향응력인  $\sigma(z)$ 응력은 단순 빔굽힘 이론에 따라 다음과 같이 표현된다.

$$\sigma_{(z)} = \frac{N}{A} + \frac{M_z}{I} \quad (1)$$

여기서  $A=2bh$ ,  $I=2/3bh^2$  이다.

만약 탄성-완전소성 이론을 적용한다면 최초의 항복이 외부 표면의 +Z에서 일어나며 그 하중은 아래와 같다.

$$\frac{N}{2bh} + \frac{3M}{2bh^2} = \sigma_y \quad (2)$$

만약 하중이 이 조합을 초과하게 된다면  $\sigma_y$ 는 더 이상 증가하지 못하기 때문에  $\sigma_y$ 에 도달한 부분이 점차 증가하게 된다. 즉 Fig. 3에서 보는바와 같이 외면이  $\sigma_y$ 에 도달한 후 점차 도달면이 안쪽으로 전파되어 최종적으로는 전 두께에 걸쳐 소성 조건이 형성된다.

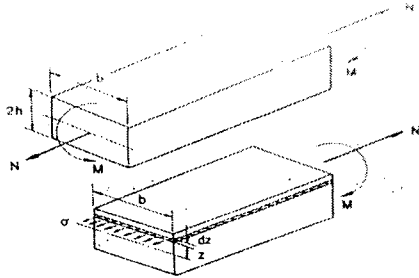


Fig. 2. Beam element with direct and bending actions.

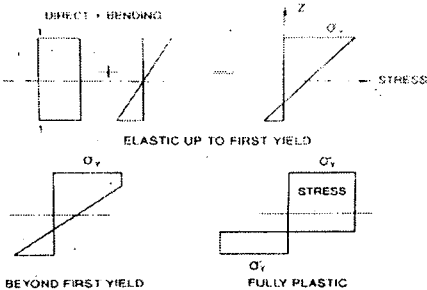


Fig. 3. Stress distributions under elastic plastic conditions.

이와 같은 상태는 한계상태(limit state)라 알려져 있다. 한계상태에 대한 평형식은 응력분포와 외부하중이 평형을 이루는 것을 이용하여 아래와 같이 된다.

$$\frac{M}{\sigma_y bh^2} + \left(\frac{N}{2bh\sigma_y}\right)^2 = 1 \quad (3)$$

이때  $\frac{M}{\sigma_y bh^2} \leq 1$ ;  $\frac{N}{2bh\sigma_y} \leq 1$  이다.

순수 굽힘에 의한 한계하중을 구하면  $M_L = \sigma_y bh^2$ 가 된다. 그리고 순수굽힘에 의한 최초항복하중을 식(2)로부터 구하면  $M_y = \frac{2}{3} \sigma_y bh^2$  이다. 그러므로 순수굽힘에 의한 한계하중과 최초항복하중의 비는 1.5배가 된다.

만약 해석의 편이성을 위해 소성을 고려하지 않고 탄성만을 고려한다면 식(2)의  $\frac{N}{2bh}$ 는 탄성 멤브레인응력이되고  $\frac{3M}{2bh^2}$ 은 탄성굽힘응력이 된다. 이때 최대응력  $\sigma(\max)$ 는  $\sigma(\max) = \sigma_m + \sigma_b$ 가 된다. 그러므로 최초항복조건과 한계응력조건은 각각 아래와 같다.

$$\sigma_m + \sigma_b = \sigma_y, \quad \frac{2\sigma_b}{3\sigma_y} + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_y}\right)^2 = 1 \quad \text{이다}$$

이를  $\sigma(\max)$ 와  $\sigma_m$ 으로 도시화하면 Fig.4와 같이된다. ASME에서는  $\sigma_m$ 에 대한 허용응력을 앞에서 서술하였듯이  $\frac{2}{3} \sigma_y$ 로 결정하였으며 조합응력  $\sigma_m + \sigma_b$ 에 대해서는  $\sigma_y$ 로 제시하였다. 이는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 상당한 여유분이 고려된 결정이다.

2) 하중의 반복시 ratcheting이 일어나지 않는 조건

2차응력의 허용조건은 반복적인 소성변형의 반복 혹은 점진적 붕괴에 연관된 ratcheting이 일어나지 않는 조건과 연관되어져 있다. 구조물이 반복적으로 상당한 크기의 하중을 받게 되면 소성변형이 쌓이게 된다. 특별한 경우를 제외하고는 이러한 현상은 피해야만 한다. 만약 연속적인 하중의 반복 후에도 탄성거동을 할 수 있는 하중의 반복이라면 최초의 수회에 걸친 소성변형은 허용되기도 한다. 이러한 거동을 shakedown이라 한다. shakedown의 설명은 Fig. 5에 나타나 있다. ASME에서는 ratcheting이 일어나지 않는 조건을 전체응력의 합이  $2\sigma_y$ 를 초과하지 않는 것으로 규정하고 있다. 이 의미는 Fig. 5에서 보는 바와 같이  $2\sigma_y$ 에 해당하는 변형을  $e_2$ 까지는 일련의 하중부하에 의해 매번 탄성적인 거동이 이루어지지만  $e_2$ 를 초과하는  $e_3$ 의 경우에는 하중이 제거되고 원래의 형상으로 돌아오게 되면 D'D"의 소성변형이 일어나게 되어 점진적인 붕괴가 일어난다는 것이다.

이상과 같은 배경을 근거로 하여 만들어진 ASME sec.VIII div.2 appendix 4의 허용응력

조건을 Table 1에 나타내었다.

일반적인 탄성설계에서 최고 응력이 2/3YS에 불과한 것과는 달리, 1, 2차 응력, 멤브레인, 굽힘 응력 등의 응력의 유형을 구분하여 최고 2YS까지의 응력이 허용됨을 알 수 있다. 여기서 k값은 정상 상태에서는 1이 사용되며 지진하중의 경우 1.2, 수압시험의 경우 1.25가 사용된다. 유출시의 k값은 1을 사용하고 있으나 경우에 따라서는 발주자의 요청에 따라 다른 값을 사용할 수 있을 것 같다. 그리고 응력들의 방향성을 고려한 합은 stress intensity로 한다.

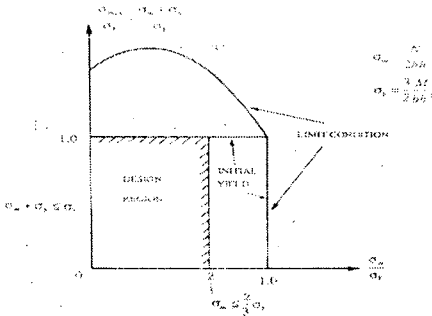


Fig. 4. Design limits to avoid gross distortion.

Table 1. Design allowables

Stress intensity	Allowable stress	Equivalent yield
General primary membrane	kSm*	2/3YS
Local primary membrane	1.5kSm	YS
Primary membrane + bending	1.5kSm	YS
Primary + secondary	3kSm	2YS

\*Sm=maximum allowable stress in ASME section VIII

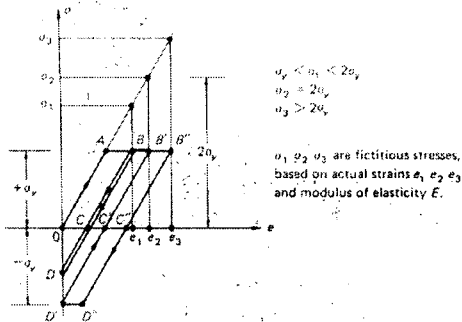


Fig. 5. Design limit to avoid ratcheting.

## 2.5. 코너프로텍션 라이너의 설계 개념

Table 1의 높은 허용하중을 사용하여 설계하기 위해서는 코너프로텍션의 각 위치별 응력유형구분이 필수적이다. 그러므로 ASME sec. VIII div.1과 달리 div.2에서의 설계는 응력 해석을 기본으로 수행한다.

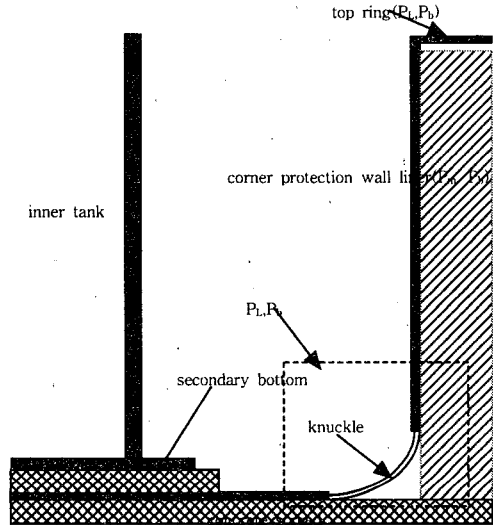


Fig. 6. Detail of corner protection and stress categorization

Fig. 6에서 보는바와 같이 코너프로텍션은 knuckle, wall liner, top ring으로 구성된다. 이때 각 위치별 응력의 유형분류는 appendix 4, Table 4-120.1을 참고하여 knuckle 및 그주변을  $P_L, P_b$ 로 wall liner는  $P_m, P_b$ 로 top ring은  $P_L, P_b$ 로 구분하였다.

그리고 해석에 사용되는 주요 설계개념은 다음과 같다.

- 1) 코너프로텍션의 경우 1차하중에는 내압, 액위에 따른 액압, 설계가스압이 포함된다. 그리고 이러한 1차하중은 운영 중이나 중대유출 및 부분유출시에 라이너와 formglass 단열재가 공동으로 지탱하게 된다.
- 2) 액체의 유출은 소량이 상당한 시간동안 천천히 유출하는 것을 고려하여 정상상태를 가정한다.
- 3) shakedown 방지를 위한 허용응력 범위를 검토하기 위해 고려되는 하중조건에는 건설조건, 퍼징조건, 쿨다운 조건, 외부온도조건, 운전조건, 수압시험조건, 주요유출조건, 부분유출조건 등을 고려해서 두조합에서의 응력변화 범위를 검토해야 한다. 하지만 모든 조건이 코

너프로텍션에 원주방향 인장응력을 발생시키므로 최대하중조건인 중대유출조건과 부분유출조건에서의 응력값이 허용응력범위 내에 있는가를 검토한다.

**2.6. 유한요소해석 모델**

2.4의 허용응력의 개념에서 살펴보았듯이 ASME sec VIII, div 2에서 높은 허용응력을 사용하는 것은 응력유형의 분류를 근간으로 하고 있으므로 해석을 통해 구조물의 각 위치에 작용하는 응력상태를 정확히 계산해내어야 한다.

이러한 응력상태의 정확한 계산은 유한요소 해석에 의해 가능하다. Fig.7은 부분유출시에 대해 범용해석 프로그램인 ANSYS에 의해 모델링한 것이다. 요소는 열해석과 기계적해석이 가능한 plane 13을 사용하여 축대칭조건으로 원통형탱크의 단면을 모델링하였다. 9%니켈강 내조, 콘크리트, formglass 등이 포함되어 있다. LNG유출에 의해 젖은 perite powder는 변형이 용이한 상태가 되기 때문에 모델링에서는 제외하였다. 다만 젖은 perlite에 의해 코너 프로텍션 라이너에 -162°C의 열하중을 가하게 된다. 그리고 모델링시 2차바닥 및 내조바닥의 수축에 의한 변위가 코너프로텍션에 가해질 수 있도록 Fig.8에서 보는바와 같이 2차바닥을 주변 콘크리트와 별개로 모델링하고 y 축 커플링을 하여 y축의 거동을 주변콘크리트의 거동에 의해 구속받게 하였으며 x축으로는 자유로운 이동이 가능하도록 하였다. 그리고 설계개념상 1차하중을 코너라이너와 formglass가 공동으로 지탱하므로 이들 요소사이에 하중전달이 일어나도록 contact 요소를 삽입하였다.

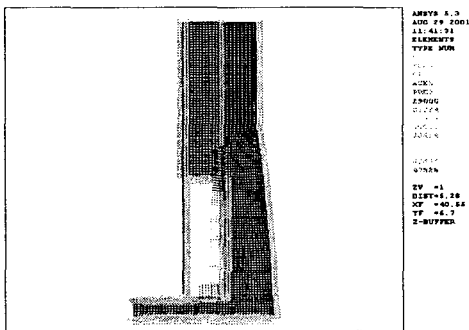


Fig. 7. FEM model of corner protection for minor leak

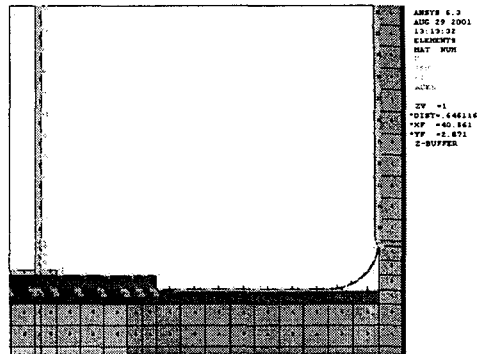


Fig. 8. Detail of boundary conditions.

**2.7. 해석결과를 이용한 규격요건에의 적합성 검토**

Fig.9는 부분 유출조건에서 1차하중이 가해진 해석결과이다. 최고 167MPa의 응력이 발생함을 알 수 있다. 그러나 Div.2에서는 이 최고응력이 중요한 것이 아니라 각 응력의 형태별 응력의 크기가 중요하다. 그러므로 특정 단면두께에 대해서 응력을 멤브레인응력과 굽힘응력으로 분류한 후 규격에 의해 허용응력 범위를 검토해야 한다.

Fig. 10은 ANSYS가 제공하는 linearisation method에 의해 knuckle부분의 특정지점에서 전단면에 걸쳐 응력의 유형을 구분한 예이다. 5mm 두께에 걸쳐 평균 17.8 MPa의 멤브레인 응력이 작용하고 최고 150.2 MPa 멤브레인+굽힘응력은 이 발생함을 할 수 있다.

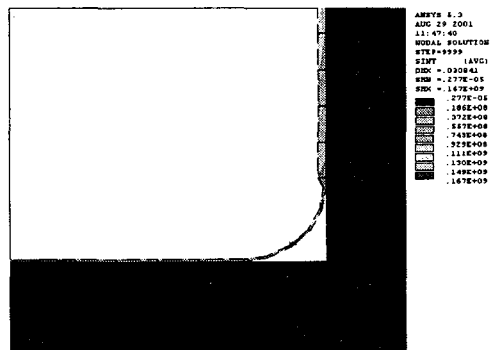


Fig. 9. Stress intensity results by mechanical loads for major leak.

### 3. 결 론

본 논문에서는 ASME section VIII, div.2, appendix 4를 분석하여 LNG저장탱크의 코너 프로텍션을 설계한 과정을 소개하였다.

단순한 형상의 압력용기의 경우 코드의 수식을 이용하여 원주방향응력이 허용응력 2/3 YS를 초과하지 않도록 설계한다. 하지만 Appendix 4를 적용하게 되면 복잡한 유한요소 해석을 통해 응력상태를 유형별(열하중, 기계적하중, 멤브레인, 굽힘)로 정확히 분석하여 Table 1과 같이 응력의 종류에 따라 각기 다른 허용응력을 적용함으로써 높은 허용응력을 갖는 코너프로텍션을 설계할 수 있게 해준다.

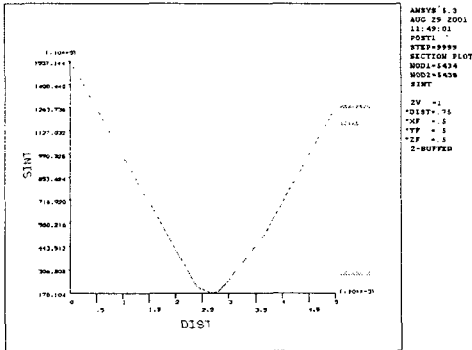


Fig. 10. Path plot

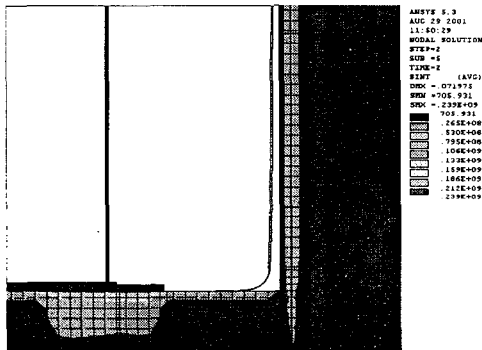


Fig.11. Stress intensity results by total loads for minor leak.

이들 응력값들이 라이너의 응력유형인 Pm, Pb의 허용하중 kSm과 1.5kSm을 초과하는지 판단한다.

Fig. 11은 열하중과 기계적 하중을 모두 가해 얻어진 결과이다. 즉 1차,2차응력의 합이다. 이 경우에는 응력유형의 분류가 필요하지 않다. 왜냐하면 1차+2차응력의 합의 경우 응력유형에 상관없이 동일한 허용응력이 적용되어 ratcheting 이 일어나지 않는 응력 3kSm의 초과여부만 확인하면 된다.

### 참 고 문 헌

- 1) British standard institution, "BS 8110: structural use of concrete, part 2: Code of practice for special circumstances", 1985
- 2) 한국가스기술공업, "Spillage analysis", 통영 #6,7 탱크 설계문서 Document No. TLT- 1-C-2CAL-014, 2001
- 3) NOELL WHESSOE(England company) ,"Static and thermal calculation for collection channel", Document No. 62-D03-ME-017, 2000
- 4) Kvaerner metals(England company), " Thermal/stress analysis of bottm corner protection of Karsto ethan storage tank", Document No. E060-AD-M-CA-0345, 1998
- 5) J. Spence,"Prevessel design concept and principles" E&FN SPON(1994)
- 6) Henry H., "Prevessel design handbook", VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY (1986)