

저장탱크 앵카볼트 최적설계에 관한 고찰

{A study for optimized Anchor bolt design for Storage Tank}

(최초 작성 : 2016.08.01., 최종 수정일 : 2016.08.07.) 저자 : RYU-CHANG MYONG / P.E
(기술사 류창명 / 건설기계기술사/산업기계설비기술사) / 피이에스기술사사무소 대표

요 약

저장탱크 앵카볼트 규격 선정은 관련 규정에 따라 수행하나, 저장탱크의 기초부의 BASE PLATE 설계 조건 및 저장탱크 기초 콘크리트 조건에 따라 설계 환경에 맞는 최적의 조건으로 설계하는 것이 매우 중요하다. 또한, 앵카볼트의 규격과 길이 선정은 저장탱크의 기초부의 토목 설계와도 매우 밀접한 관련이 있어 간혹, 저장탱크의 설계자는 이러한 주변 설계 환경을 충분히 고려하지 못하여 과도한 설계 또는 설계 요구 조건을 충분히 반영하지 못하여 불필요한 비용과 납기 손실을 초래하는 경우가 있어 본 고에서는 앵카볼트 설계 조건에서 반드시 고려해야 하는 사항을 기술적으로 검토함과 동시에 유사 제품에 대한 앵카볼트 설계 조건을 함께 검토하여 문제점을 개선하는데 도움이 되고자 한다.

특히, 앵카볼트의 설계 조건에서 가장 중요한 것은 저장탱크의 운전 이전의 풍하중과 운전 중의 내진 하중 조건에서 적용받는 전도 모멘트가 안정 모멘트보다 적게되는 경우는 앵카볼트가 불필요하게 되며, 동시에 BASE PLATE에 요구하는 두께와도 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. 즉, BASE PLATE의 요구 두께와 앵카볼트의 요구 직경은 거의 유사함을 확인 할 수 있었으며, 앵카볼트의 요구 매설 길이는 볼트 직경의 약 12배 정도가 적정하며, 이때 앵카볼트의 유효 묻힘 길이는 앵카볼트 직경의 약 4배 정도로 나타내고 있음을 알 수 있다.

주제어 : API 650, Storage Tank, Anchor bolt, Anchor bolt sizing, base plate thickness

저장탱크, 앵카볼트설계, 앵카볼트규격, 앵카볼트 요구길이, 앵카볼트 매설깊이

ABSTRACT: Generally, Storage Tank design conform to related regulation such as API 650 or AISC Standards, However, Anchor bolt design should be performed considering the effects on other design components of base plate and Civil construction design. Unless otherwise reasonable design, it makes that much more cost rather than expected cost and delivery. Therefore this paper describes the important of design consideration for Anchor Bolt sizing and what is required for determination of its size. Especially, this paper focus on how is the related to Anchor bolt load of wind and seismic where anchor bolt is not required for some case of storage tank condition and thereby also, we can get an optimum size of anchor bolt and quantity as well as base plate thickness. Particularly, here is the more important thing, the required thickness of base plate is nearly similar to diameter of anchor bolt. And also required embed length of anchor bolt is approximately 12 times bolt diameter of which effect length is 4 times of that.

*****목 차*****

1. 개 요

2. 앵카볼트 규격 선정 시 고려되는 하중
3. 앵카볼트 규격과 관련 설계에 미치는 영향
4. 앵카볼트와 BASE PLATE의 파괴 하중
5. 앵카볼트 길이 선정 시 고려 할 사항
6. 앵카볼트 하중 및 응력 거동
7. 앵카볼트 필요 여부 및 전도모멘트 계산 방법
8. 앵카볼트 설계
9. 앵카볼트 최대 묻힘길이

결 론

참고문헌

저자소개

1. 개 요

일반적으로 저장탱크 앵카볼트 설계 기준은 API 650(American Petroleum Institute) 표준서에 따라 설계를 수행하나 재질에 대한 기계적 성질은 AISC(American Institute of Steel Construction) 규정에 따른다. 이전에 필자는 철골 기초용 앵카볼트 최적 매설길이에 관하여 기술보고서를 기술한 적이 있으나 앵카 볼트의 매설에 필요한 최적 길이 만큼이나 앵카볼트 적정 볼트 규격을 선정하는 것도 매우 중요하여 본 보고서에서 현재 수행하는 설계적인 관련 규정에서 요구하는 사항을 보다 현실적으로 체감할 수 있는 개념적 요구 사항을 서술하면서 앵카볼트 사이즈 선정에서 중요한 인자와 과도한 설계로 인하여 손실되는 문제점을 본 고에서 짚어보고자 한다. 앵카 볼트의 기능은 저장탱크 하부에서 BASE PLATE를 기초 콘크리트에 고정시키는 역할을 하고 있으나 간혹, 저장탱크 설계를 수행하는 과정에서 앵카 볼트가 미치는 경제적인 중요성에 관해서는 그다지 무게를 두지 않는 경우가 있다. 그 이유는 저장탱크 설계자는 해당 규정에 따라 저장탱크 중량 계산이후 풍하중 및 내진하중에 따른 전도 모멘트에서 요구하는 전단력 기준으로 앵카볼트 사이즈를 선정하기 때문에 그 계산 수행 과정이 그렇게 복잡하지 않기 때문이다. 하지만, 앵카볼트의 사이즈 선정에 고려되는 설계 인자는 생각보다 단순하지 않을 수도 있다. 가령, 저장탱크의 기초 설계 조건이나, 앵카볼트의 수량에 따라 앵카볼트의 크기는 관련 규정에서 별도로 언급 하지 않는 설계 인자이기 때문에 더더욱 그렇수도 있다. 예를 들어 앵카 볼트 규격 50mm 10개일 기준으로 앵카볼트 규격 25mm를 사용시 요구 되는 수량은 4배로 증가하여 40개를 요구하게 된다.

하지만, 앵카볼트 규격이 증가하면 이에 요구되는 길이 또한 증가하게 되면서 기초용 콘크리트 구조 두께 또한 증가 하게 된다. 반면에 앵카볼트 규격을 감소시키면 요구되는 수량이 증가하여 앵카볼트가 취부되는 앵카체어(Anchor Chair) 수량도 증가하여 어느 정도 이상은 한정된 공간에서 앵카볼트 설치 제한을 받게 될 것이다. 따라서, 본 고에서는 이러한 문제점을 도출하면서 앵카볼트의 최적 설계를 수행하기 위한 방안을 제시하고 앵카볼트의 규격이 미치는 주변 설계적인 영향을 함께 고찰하는데 그 목적이 있다.

2. 앵카볼트 규격 선정 시 고려되는 하중

앵카 볼트 설계 과정은 API 650에 따라 저장탱크의 풍하중 및 내진하중에 대한 해당 전도 모멘트에서 요구하는 전단 하중으로 요구 규격을 선정하나, 상기 주요 하중과 함께 UP-LIFT FORCE를 함께 계산하여 앵카볼트 사용 여부 또한 계산을 수행하는 것이 일반적인 방법이다 할 것이다.

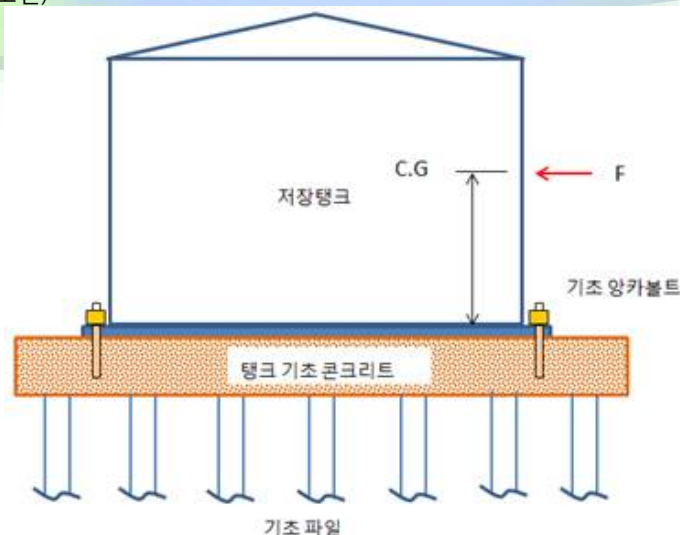
가. 정하중(Empty Weight)

나. 운전하중(Operation Weight) *저장 내용물에 대한 하중 포함

다. TEST 하중(충수시험)

라. 풍하중 (가.항 조건)

마. 내진하중 (나.항 조건)



3. 앵카볼트 규격과 관련 설계에 미치는 영향

앵카 볼트 규격과 길이 및 수량은 저장탱크 하부 BASE PLATE 두께와 ANCHOR CHAIR 설계와도 밀접한 관계를 갖고, 이외에도 저장탱크 기초 콘크리트의 조건과도 관련이 있다. 즉, 저장탱크의 기초가 파일이나 마이크로 파일 시공 없는 조건에서 암반위에 설치되는 경우라면 기초 콘크리트(MAT

CONCRETE) 의 총 하중이 저장탱크의 운전 하중에서 요구되는 전도 하중보다 크게 설계 되어야 할 것이다. 반면에 저장탱크의 기초가 기초 파일로 시공되는 경우는 이러한 전도 하중에 대해서는 크게 염려할 사항은 아닐 것이다. 하지만 양카볼트 자체의 조건만 고려한다면 저장탱크는 기초 콘크리트면 이 RIGID 한 조건으로 보는 것이 일반적인 설계 조건으로 볼 수 있다.

4. 양카볼트와 BASE PLATE의 파괴 하중

가. 양카볼트의 파괴 조건

양카볼트의 규격은 전단하중에 따른 전단 강도 기준으로 선정하고 있으나, BASE PLATE와 함께 고려되어야 할 전단 하중을 정리하면 다음과 같다.

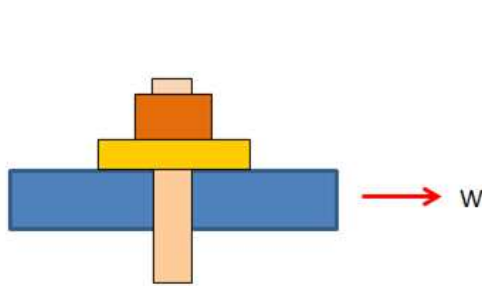


그림-1 볼트가전단에 의한 파괴

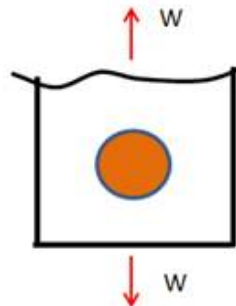


그림-2 볼트 또는 구멍 벽이 압축에 의한 파괴

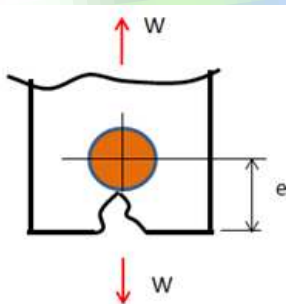


그림-3 BASE PLATE 가장자리가 볼트에 의해 절단

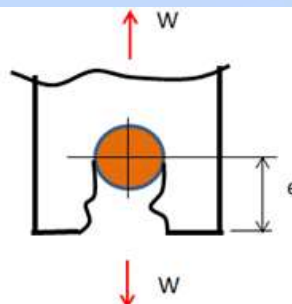


그림-4 BASE PLATE가 볼트에 의해 폭으로 절단

다음은 풍하중 및 내진하중에 대하여 양카볼트가 요구 된다는 가정하에 실제 양카볼트 설계 규격을 검토한 결과이다.

h : 무게 중심 거리(4m)

d : 볼트 직경 (M30)

t : Base Plate 두께(T30)

σ_c : 볼트 최소 항복강도(21 kgf/mm²)

τ_s : 볼트 전단 허용 응력, $\sigma_c \cdot 0.5 = 10.5$ kgf/mm²

e : 볼트 중심에서 BASE PLATE 가장자리까지 거리 (220mm)

풍하중에 의한 적용 하중

q : 양카볼트 수량(24개)

M_w : 풍하중 전도 모멘트 (24,800 kgf-m)

M_s : 내진 하중 전도 모멘트 (116,000 kgf-m)

W_t : Empty 상태 저장탱크 중량 (13,000 kgf)

W_o : 운전 상태 저장탱크 중량 (415,000 kgf)

W_{wτ} : (M_w/h)-W_t = 24,800 kgf-m/4m -13,000 kgf = (6,200kgf-13,000kgf)/20 = -340 kgf

W_{sτ} : (M_s/h)-W_o = 116,000 kgf-m/4m -415,000 kgf = (29,000kgf-415,000kgf)/20 = -19,300 kgf

1) 볼트가 전단에 의한 파괴 (그림-1) : $W = \tau_s \cdot \pi \cdot d^2 / 4$, $d = (4 \cdot W / \tau_s \cdot \pi)^{0.5}$

2) 볼트 또는 구멍 벽이 압축에 의한 파괴 (그림-2) : $W = \sigma_c \cdot \pi \cdot d^2 / 4$, $d = (4W / \sigma_c \cdot \pi)^{0.5}$

풍하중 조건 : W_{wτ} = -340 kgf * 수직 정하중으로 양카볼트 불필요함

내진하중조건 : W_{sτ} = -19,300 kgf * 수직 정하중으로 양카볼트 불필요함

따라서, 상기와 같이 양카볼트에 부하되는 풍하중 및 내진하중은 수직 정하중이 전단하중을 지배하여 양카볼트는 불필요함을 알 수 있다.

나. BASE PLATE의 요구 두께

BASE PLATE는 수직 정하중하에서는 하부의 기초 콘크리트와 RIGID하다고 볼 수 있기 때문에 연직 방향에서는 BASE PLATE에 대한 파손파괴는 없다고 가정할 수 있으나 다만, 수직 상방향에 대하여 UP LIFT FORCE를 적용하여 BASE PLATE 요구 두께는 다음과 같이 계산할 수 있다.

UP-LIFT FORCE(W) : -550 kgf (계산-2) 참조

1) BASE PLATE 가장 자리가 볼트에 의해 절단 (그림-3) : $W = (e - (d/2)) \cdot t \cdot \tau_s$, $t = W / (e - (d/2)) \cdot \tau_s$

Base Plate(t) = $W / (e - (d/2)) \cdot \tau_s = 550 \text{kgf} / (220 \text{mm} - (30 \text{mm}/2)) \cdot 10.5 \text{kgf/mm}^2 = 28.1 \text{mm}$

2) BASE PLATE가 볼트에 의해 폭으로 절단 (그림-4) : $W = e \cdot t \cdot \tau_s$, $t = W / e \cdot \tau_s$

Base Plate(t) = $W / e \cdot \tau_s = 550 \text{kgf} / 220 \text{mm} \cdot 10.5 \text{kgf/mm}^2 = 0.24 \text{mm}$

3) BASE PLATE의 변형량 (그림-5) : $\delta = WL^3 / 48E \cdot I$

하중(W) : 550kgf

탄성계수(E) : $2.1 \cdot 10^6 \text{ kgf/cm}^2$

길이(L) : 168.2 cm

폭(b) : 27 cm

두께(h) : 3 cm

관성모멘트(I) : $bh^3 / 12 = 27 \text{cm} \cdot 0.3 \text{cm}^3 / 12 = 0.06075 \text{cm}^4$

$\delta = WL^3 / 48E \cdot I = 550 \text{kgf} \cdot 168.2^3 / 48 \cdot 2.1 \cdot 10^6 \text{ kgf/cm}^2 \cdot 0.06075 \text{cm}^4 = 0.427 \text{cm}$

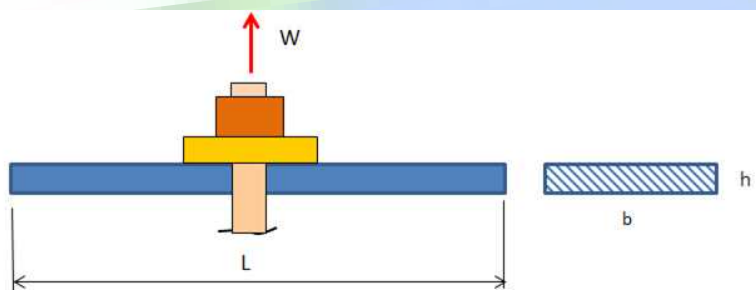


그림-5 BASE PLATE 변형량

따라서, BASE PLATE가 양카볼트에 의해 파괴되는 조건은 UP-LIFT FORCE와 볼트 중심에서 BASE PLATE 가장자리까지의 거리가 지배함을 알 수 있으며, 여기서 가장 중요한 것은 양카볼트와 BASE PLATE의 재질에 대한 기계적 성질이 유사한 조건에서는 BASE PLATE의 요구 두께는 양카볼트의 직경과 유사함을 알 수 있다.

다. 양카볼트와 BASE PLATE의 접합 형태

일반적인 철구조물에서는 볼트 접합 형태를 마찰 접합과 인장접합 형태로 나눌 수가 있으나, 양카볼트의 접합 형태는 수직 정하중과 전단 하중에 의해서는 마찰접합 형태에 가까우며, UP-LIFT FORCE 조건에서는 인장 접합 형태로 볼 수 있다. 즉, UP-LIFT FORCE 조건에서는 볼트의 인장 응력이 지배하며, 마찰접합 조건에서는 전단 하중이 지배한다고 볼 수 있다.

5. 양카볼트 길이 선정 시 고려 할 사항

양카볼트 소요 길이는 기초 콘크리트의 두께 및 설계 조건과도 밀접한 관계가 있으며, 양카볼트 길이 선정시 설계적 고려 사항을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 불합리한 양카볼트 규격 계산
- 2) 설계적 적용 기준과 콘크리트 가장자리와의 이격 거리
- 3) 양카볼트 사용 재질과 콘크리트 특성
- 4) 양카볼트 간격과 콘크리트 구조와의 관계
- 5) 양카볼트와 적용 와셔와의 역학적 검토 적용 기준
- 6) 양카볼트 사이즈 선정시 와셔와 Base Plate와의 용접 조건
- 7) 양카볼트 사이즈 선정시 양카볼트 ROOT 형상
- 8) 양카볼트 사이즈 선정시 콘크리트 매몰 길이가 반영되지 않고, 양카볼트는 전단 파괴 조건으로만 고려함

9) 양카볼트 길이 선정시 유효 매설 길이와 콘크리트구조와의 관계 해석 기준 (계산-1 참조)

(계산-1) : 양카볼트 매설 유효 길이 계산

STRUCTURE ENGINEERING

ANCHOR BOLT EFFECTIVE LENGTH

INPUT DATA PGM RUN V1.0

* Item Name	E-1004	* Description	PES21
-------------	--------	---------------	-------

DESIGN DATA

* Force type	Prying case	* a= Throat thickness (Weld leg=0.707)	8 mm
* Distance from edge, e	841 mm	* Distance between bolt, w	1682 mm
* Distance from edge, ex	75 mm	* Distance from weld leg, mx	103 mm
* Bolt pitch, p	2 mm	* bp=Imbedded bolt length	1600 mm

RESULT OF CALCULATION

* Effective length, #1	$= (4 \times 103) + (1.25 \times 75)$	505.8 mm
* Effective length, #2	$= 2 \times 3.14 \times 103$	646.8 mm
* Effective length, #3	$= 0.5 \times 1600$	800.0 mm
* Effective length, #4	$= (0.5 \times 1682) + (2 \times 103) + (0.625 \times 75)$	1,093.9 mm
* Effective length, #5	$= 841 + (2 \times 103) + (0.625 \times 75)$	1,093.9 mm
* Effective length, #6	$= (3.14 \times 103) + (2 \times 841)$	2,005.4 mm
* Effective length, #7	$= (3.14 \times 103) + 2$	325.4 mm
Effective Anchor bolt length		
* Effective length	$= (3.14 \times 103) + 2$	325.4 mm

계산에서와 같이 양카볼트 매설 길이 1600mm에 대하여, 실제 유효 길이는 325.4mm로 나타나고 있어 양카볼트 길이가 과도하게 선정되었음을 알 수 있다.

6. 양카볼트 하중 및 응력 거동

양카볼트 규격 선정에 지배하는 인장, 전단, 굽힘모멘트에 대한 응력 거동을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 축 압축응력이 지배 : 수직 정하중이 풍하중 및 내진 하중에 따른 전도 모멘트보다 클 경우
- 2) 벤딩 모멘트가 지배 : 풍하중 및 내진 하중이 수직 정하중보다 클 경우
- 3) 축 인장응력이 지배 : UP-LIFT 힘이 풍하중 및 내진 하중에 따른 전도 모멘트보다 클 경우
- 4) 축 인장응력과 벤딩모멘트가 지배 : 2), 3)항이 지배하는 경우
- 5) 몰타르 측면 베어링 하중이 지배
- 6) Base Plate와 콘크리트에 볼트 베어링 하중 및 볼트 벤딩 하중이 지배 : 볼트 축하중이 지배함

7. 양카볼트 필요 여부 및 전도모멘트 계산 방법

일반적으로 양카 볼트 설계 기준은 풍하중과 내진 하중을 고려하여 이 때의 전도 모멘트가 안정 모멘트보다 크게 되는 경우 양카 볼트 설치가 요구 된다.

가. 저장탱크 내부 유체가 없는 조건에서 풍하중에 의한 전도 하중

저장 탱크 벽면에 작용하는 풍하중은 초당 40미터의 풍속(40m/Sec)에서 약 120 kgf/m^2 의 측면 하중을 받게 된다. 저장탱크의 풍하중 계산은 구형의 물체가 받는 풍하중으로 계산하며, ASCE 혹은 API 규정에서 요구하는 관련 계산식에도 이러한 기준으로 계산식이 주어져 있음을 다음의 주석으로 통하여 확인할 수 있다. 즉, 간혹 주변에서 볼 수 있는 반구형의 풍속계는 오목과 볼록의 형태이며, 오목쪽이 60%, 볼록쪽이 40%의 풍력힘의 차이로 돌게 되는 것이 반구형 풍속계의 회전 원리이다.

* 저장탱크의 투영면적(평면) 기준 바람에 의한 풍하중을 계산

직경(D) : 6m, 높이(h) : 8m, 공기 밀도(e) : 1.25 kg/m^3 , 풍속(v)=40m/s

$F = e \cdot Q \cdot V = e \cdot A \cdot V^2 = 1.25 \text{ kg/m}^3 \cdot 6 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} \cdot 40 \text{ m/s} = 96,000 \text{ N}$ (9,796kgf)이며, 단위 면적당 바람에 의한 받는 힘은 $9,796 \text{ kgf} / 48 \text{ m}^2 = 204 \text{ kgf/m}^2$ 이 되며, 이 때 구형에 적용하는 실제 힘은 약 60%일 때 $204 \text{ kgf/m}^2 \cdot 0.6 = \text{약 } 120 \text{ kgf/m}^2$ 이 된다.

이때의 전도 하중은 저장탱크의 내부 유체가 없는 조건에서의 수직 정하중에 무게 중심까지의 거리를 곱한 값이 풍하중에 무게 중심까지 거리를 곱한 값 보다 크다면 이 때는 양카볼트 없이 전도 모멘트보다 안정 모멘트가 크다고 볼 수 있어 양카볼트가 불필요하게 된다.

나. 저장탱크의 운전하중 조건에서 내진 하중에 의한 전도 하중

운전중에 지진으로 인한 전도 모멘트가 안정 모멘트보다 클 경우 양카볼트는 필요하게 된다. 하지만, 이 때 저장탱크의 설계 규정인 API 650 (App. E, Fig. E-2 and E-3)에서는 내진에서 고려되는 저장탱크의 운전 중 정하중의 유효 하중을 계산하여 내진에 따른 전도 하중과 비교하여 단위 길이당 하중으로 환산하여 양카볼트의 유무를 판단하게 된다.

즉, 내진에 따른 전도 모멘트는 API 650 E.3.1에 따라 다음의 수식에 따라 계산한다.

$$M = Z \cdot I \cdot (C_1 \cdot W_s \cdot X_s + C_1 \cdot W_r \cdot H_t + C_1 \cdot W_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot W_2 \cdot X_2)$$

Z : Seismic Zone Factor (API 650 Table E-2)

I : Importance Factor (API 650 Table E-3)

Wt : Total weight of contents (저장 유체의 운전 중량)

W1 : Weight of the Effective mass of tank contents that move in unison with Tank

(저장탱크 유체 중량의 약 85% 수준임)

이 때, 저장탱크 셸의 원주방향에 작용하는 길이 방향 압축응력은 API 650 E.5.1에 따라 $(M_t) = M/(D^2 \cdot (W_t + W_1))$ 의 값이 API 650 App. E, Para E.5.1항의 값보다 적으면 양카볼트는 요구 되지 않는다고 판단함.

하지만, 본 고에서는 상기 1)항의 풍하중에 대한 안전모멘트 계산 조건과 같이 운전 중의 저장탱크의 운전 중량 대비 내진 하중에 대한 전도 모멘트값의 비교 방식으로 수직 정하중에 무게 중심까지의 거리를 곱한 값이 내진하중에 무게 중심까지 거리를 곱한 값 보다 크다면, 이 때는 양카볼트 없이 전도 모멘트보다 안정 모멘트가 크다고 볼 수 있어 양카볼트가 불필요하다고 판단하였다.

다. 저장탱크 UP-LIFT FORCE에 의한 양카볼트 유무 계산

다음은 API 650 Table 21a에 따른 UP-LIFT FORCE를 계산한 결과이며, UP-LIFT FORCE에 따라 양카볼트가 요구됨을 알 수 있다.

(계산-2) UP-LIFT LOADS CALCULATION

API650 STORAGE TANK ENGINEERING

UP-LIFT LOADS CALCULATION-Table -21a

INPUT DATA **PGM RUN**

- Item Name	E-1004	- Description	PES21
- Tank Diameter, D	6 m	- Tank Height, H	8 m
- Min. yield strength of the bottom shell course, Fby	205 Mpa	- Design pressure, P	17.2 Kpa
- Failure pressure, Pf	20.64 Kpa	- Test Pressure, Pt	20.64 Kpa
- Roof plate thickness, th	8 mm	- Wind moment, Mw	248000 N-m
- N : Number of anchors	24 EA	- Seismic moment, Ms	1160000 N-m
- d : Diameter of the anchor circle	0.030 m		
- W1 : Dead load of shell minus any corrosion allowance and any dead load other than roof plate acting on the shell minus any corrosion allowance	130000 N		
- W2 : Dead load of shell minus any corrosion allowance and any dead load including roof plate acting on the shell minus any corrosion allowance	130000 N		
- W3 : Dead load of shell using as-built thickness and any dead load other than roof plate acting on the shell using as-built thickness	130000 N		

RESULT OF CALCULATION

LOAD CASE

LOAD CASE	Load(N)	Load(Kgf)	Moment(Kgf-m) at Bottom	Allowable Anchor stress (Mpa)	Allowable Shell stress (Mpa)
- CASE 1 : Design Pressure = $(P-0.08th)$	-129,532	-13,209	-52,634	105	140
- CASE 2 : Test Pressure = $(P+0.08th)$	-129,435	-13,199	-52,795	140	170
- CASE 3 : Failure Pressure = $(1.5 \cdot Pf - 0.08th)$	-129,143	-13,169	-52,676	205	205
- CASE 4 : Wind Load = $(4 \cdot Mw/D) - W2$	35,333	3,603	14,412	164	170
- CASE 5 : Seismic Load = $(4 \cdot Ms/D) - W2$	643,333	65,602	262,407	164	170
- CASE 6 : Design Pressure + Wind = $(P-0.08th) + D^2 \cdot 0.785 \cdot (4 \cdot Mw/D) - W1$	35,801	3,651	14,503	140	170
- CASE 7 : Design Pressure + Seismic = $(P-0.08th) + D^2 \cdot 0.785 \cdot (4 \cdot Ms/D) - W1$	643,801	65,649	262,598	164	170

UNANCHORAGED CONDITION

- Mpi = Moment about the shell to bottom joint from Design internal pressure	-52,634 Kgf-m
- MW = Overturning moment about the shell to bottom joint from horizontal plus vertical wind pressure	14,412 Kgf-m
- MDL = Moment about the shell to bottom joint from the weight of the shell and roof supported by the shell	53,025 Kgf-m
- MF = Moment about the shell to bottom joint from liquid @ Specific gravity 0.7 and half height of the liquid height	79 Kgf-m
1. $K1 = 0.6 \cdot Mw - Mpi$	44,187 Kgf-m
2. $K2 = Mw - 0.4 \cdot Mpi$	6,722 Kgf-m
- Unanchored Tank Condition, $S1 > K1$ and $S2 > K2$ then, Unanchored	Anchored !

5.12.2. IF required anchorage tank, load per anchor

U = Net uplift load per Table 5-21	-13,209 Kgf	N = Number of anchor (Min. 4 sets)	24 Set
tb = Load per Anchor, U/N	-550 Kgf		

5.11.2 Design tension load per anchor for anchored Tank

d : Diameter of the anchor circle	0.030 m	N = Number of anchor (Min. 4 sets)	24 Set
W : Weight of the shell and Roof	130,000 N	tb = $4 \cdot Mw / dN - W/N$	8,002 Kgf

8. 앵카볼트 설계

다음은 저장탱크의 수직 정하중에 따른 풍하중 및 내진하중의 전도 모멘트에서 요구하는 앵카볼트 사용 유무와 최적의 앵카볼트 규격을 나타내고 있다.

(계산-3) 앵카볼트 설계

API650 STORAGE TANK ENGINEERING

ANCHOR BOLT DESIGN

INPUT DATA PGM RUN V2.0

* Item Name	E-1004	* Description	PES21
* Bolt Material	A307-B	* Design Temp.	AMB
* Corrosion Allowance of Anchor Bolt, CA	0 mm	* Yield Strength, Sy	21.09 kgf/mm ²
* Stress Reduction Factor, Rs	1	* Overturning Moment by Wind, Mw	24800 kgf-m
* Resist Weight(Empty Load), Wt	13000 Kgf	* Overturning Moment by Seismic, Ms	116000 kgf-m
* Resist Weight (Operating Load), Wo	415000 Kgf	* Tank Inside Diameter, D	6 m
* Bolt No. N	24	* Bolt Size	30 mm
* Bolt Circle Diameter, Db	6.2 m		

RESULT OF CALCULATION

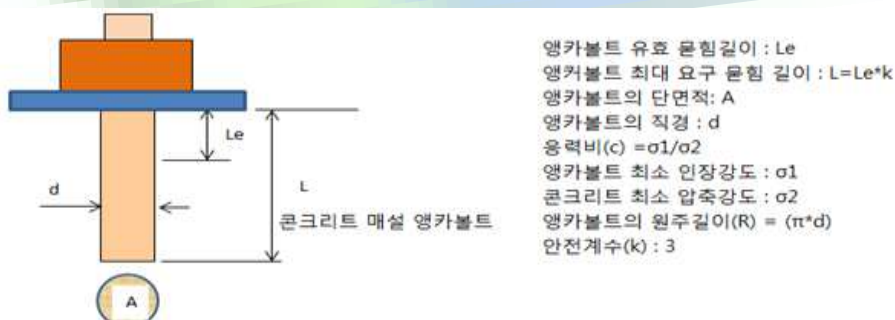
1. Bolt Root Dia.	26.4 mm	2. Bolt Root Area	547.4 mm ²
2. Total Up lift Force, F			64,333 Kgf
3. Allowable tension load per Anchor Bolt, Fta			9,212 Kgf
4. Required tension load per Anchor Bolt, Ft			-4,703 Kgf
5 Check, If Ft is less than Fta, then O.K			O.K
6. Max. Allowable Anchor bolt Space			785 mm
7. Stability moment for Wind, Sm1= 2/3*Wt*D/2			26,000 kgf-m
8. Anchor bolt required by Wind load, Sm1>Mw, then Not Required			Not required
9. Stability moment for Seismic, Sm2= 2/3*Wo*D/2			830,000 kgf-m
10. Anchor bolt required by Seismic load, Sm2>Ms, then Not Required			Not required

9. 앵카볼트 최대 묻힘길이

앵카볼트 최대 묻힘 요구 길이는 앵카볼트 직경의 최대 축력, 즉 앵카볼트의 최소 인장강도 값에서 결정되며, 이는 저장탱크 기초용 앵카볼트의 콘크리트 내부에서의 매설 길이에 대한 최대 변형을 고려하여 매설된 앵카볼트가 인장 반력에 따른 콘크리트로부터 뽑이거나, 콘크리트가 파괴되지 않는 범위 내에서 매설 길이가 선정되는 것이 타당하다고 볼 수 있다. 즉, 앵카볼트의 최소 인장 응력을 만족하는 범위내에서는 앵카볼트의 유효 매설길이는 앵카볼트 주변 콘크리트 베어링 축력 보다는 앵카볼트의 최대 축력이 지배되어 앵카볼트 유효 매설길이는 제한된다고 보는 것이다. 특히, 본 연구에서 앵카볼트의 최대 묻힘 요구 길이는 앵카볼트의 최소 인장 강도(SS400, 400Mpa) 대비 콘크리트의 압축강도(24Mpa) 응력비(c)는 16.6/1 수준이며, 이러한 배경으로 앵카볼트의 유효 묻힘 길이는 다음의 식으로 산출할 수 있다.

즉, 앵카볼트 인장력과 콘크리트의 베어링 간에는, $F=A*c=R*Le$ ---(1) 식이 성립되며, 이때의 앵카볼트 유효 묻힘 길이(Le)= $A*c/R$ 가 성립된다.

(그림-6)



이상의 조건에서 SS400(최소 인장강도 400Mpa), M20 앵카볼트에 대한 최대 묻힘 길이를 산출하면 다음과 같이 산출 할 수 있다.

앵카볼트 유효 묻힘길이(Le)= $A*c/R=314\text{mm}^2*16.6/3.14*20\text{m}=83\text{mm}$

앵카볼트 최대 요구 묻힘 길이(L)= $Le*k=83\text{mm}*3=249\text{mm}$

따라서, 앵카볼트의 최대 묻힘 요구 길이는 앵카볼트의 최대 축력과 체결토크에 따라 다소 차이가 있을 수 있으나, 통상적으로 앵카볼트와 콘크리트의 최소 강도를 비교한다면, 안전율을 고려하여 앵카볼트 직경의 약 12배 정도가 적정하며, 이때 앵카볼트의 유효 묻힘 길이는 앵카볼트 직경의 약 4배 정도로 나타내고 있음을 알 수 있다.

(계산-4) 앵카볼트 변형량 계산

ANCHOR BOLT DEFORMATION

INPUT DATA PGM RUN V1.0

* Item Name	ANCHOR	* Description	M20
DESIGN DATA			
* Bolt force, Fb	12566 Kgf	* Embedded length, Le	250 mm
* Bolt Diameter, d	20 mm	* Modulus of Elasticity, E	20389 Kg/mm

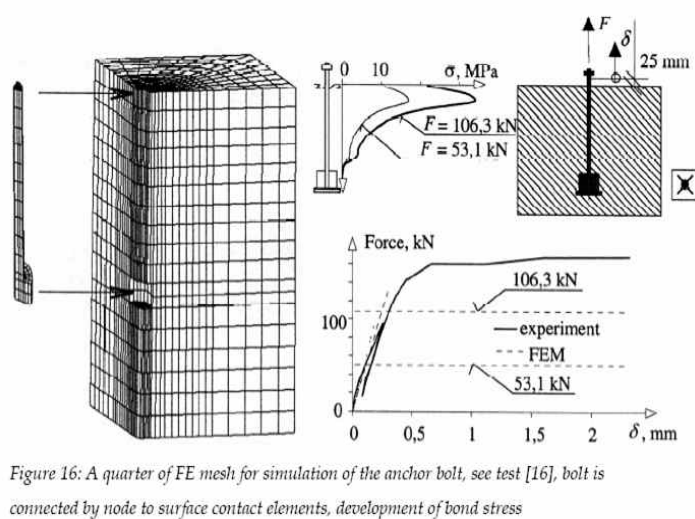
RESULT OF CALCULATION

* Bolt sectional Area, As	314.2 mm^2	* Deformation, $\delta = Fb \cdot Le / E \cdot As$	0.4904 mm
---------------------------	------------	--	-----------

[MENU PAGE-->](#)

(표-1) 앵카볼트 응력 거동 시뮬레이션 시험 결과

본 시험은 Czech Technical University in Prague에서 M24 앵카볼트의 인장력에 따른 콘크리트와 앵카볼트의 파지력의 변위 거동을 시험한 결과를 나타낸 것임.



(계산-5) 앵카볼트 유효 길이 계산

ANCHOR BOLT EFFECTIVE LENGTH

INPUT DATA PGM RUN V1.0

* Item Name	ANCHOR	* Description	M20
DESIGN DATA			
* Force type	Prying case	* a = Throat thickness (Weld leg=0.707)	8 mm
* Distance from edge, e	30 mm	* Distance between bolt, w	70 mm
* Distance from edge, ex	25 mm	* Distance from weld leg, mx	25 mm
* Bolt pitch, p	2 mm	* bp=Imbedded bolt length	350 mm

RESULT OF CALCULATION

* Effective length, #1	$= (4 \cdot 25) + (1.25 \cdot 25)$	131.3 mm
* Effective length, #2	$= 2 \cdot 3.14 \cdot 25$	157.0 mm
* Effective length, #3	$= 0.5 \cdot 350$	175.0 mm
* Effective length, #4	$= (0.5 \cdot 70) + (2 \cdot 25) + (0.625 \cdot 25)$	100.6 mm
* Effective length, #5	$= 30 + (2 \cdot 25) + (0.625 \cdot 25)$	95.6 mm
* Effective length, #6	$= (3.14 \cdot 25) + (2 \cdot 30)$	138.5 mm
* Effective length, #7	$= (3.14 \cdot 25) + 2$	80.5 mm
Effective Anchor bolt length		
* Effective length	$= (3.14 \cdot 25) + 2$	80.5 mm

[MENU PAGE-->](#)

이러한 결과는 상기 (계산-4) 앵카볼트 변형량 계산에서 최대 변형량 0.4904 mm를 만족하고 있으며, 이때의 최대 변형량은 (표-1)의 앵카볼트 응력 거동 시뮬레이션 시험 결과를 만족하는 범위이다. 특히, 앵카볼트의 유효 문힘 길이, 83mm는 상기 (계산-5) 앵카볼트 유효 길이 계산값과 거의 일치함을 알 수 있다. 다음 (계산-6)에서는 M20 앵카볼트에 대한 요구 문힘 길이를 계산한 결과를 나타낸 것이다.

(계산-6) 앵카볼트 요구 문힘 길이

STEEL STRUCTURE ENGINEERING

ANCHOR BOLT REQUIRED EMBED LENGTH

INPUT DATA **PGM RUN** **V1.0**

* Item Name	ANCHOR	* Description	M20
* Concrete Compressive Strength, Cc	24	* Safety Factor, k	3
* Bolt Size	M20x2.5	* Bolt Grade	SS400

RESULT OF CALCULATION

1. 볼트 단면적, A	314	mm ²	2. 볼트 최대 축력, $F_t = \sigma_u \cdot A$	12,560.0	Kgf
3. 볼트 원주 길이, R	62.8	mm	4. 매설 유효 길이, $L_e = A \cdot C / R$	83	mm
5. 응력비, $C = \sigma_1 / \sigma_2$	15.7		6. 문힘 요구 길이, $L = L_e \cdot k$	250	mm


MENU PAGE →

결 론

저장탱크의 기초 앵카볼트 규격 선정은 적용 풍하중과 내진하중을 기준으로 앵카볼트가 매설되는 콘크리트 구조 설계 조건 이외에도 저장탱크의 하부 셸 두께 및 BOTTOM PLATE의 두께를 비롯한 Anchor Chair의 구조설계도 함께 고려되어야 하며, 이러한 상호 구조적으로 적용 하중을 만족할 수 있는 규격과 매설길이를 결정하는 하는 것이 중요하다 할 것이다. 즉, 앵카볼트 설계는 부과되는 하중에 대한 거동 특성을 충분히 이해하여 구조적 안정성 확보와 경제성을 함께 고려하여 적절한 앵카볼트 규격 선정과 길이를 결정하는 것이 바람직하다 할 것이다. 특히, 본 고를 통하여 BASE PLATE의 요구 두께와 앵카볼트의 요구 직경은 거의 유사함을 알 수 있으며, 앵카볼트의 요구 매설 길이는 볼트 직경의 약 12배 정도가 적정하며, 이때 앵카볼트의 유효 문힘 길이는 앵카볼트 직경의 약 4배 정도가 경제적임을 알 수 있다.

참고문헌

- 1) API Standard 650, Welded Steel tanks for Oil Storage
- 2) Eurocode 3, ENV-1993-1-1, Design of Steel Structure-General Rule and Rules for Buildings. CEN, Brussels 1992, including Part 1.1, A2: Design of Steel Structures-General Rules and Rules for Building, Annex J, European Pre-norm, CEN, Brussels 1998.
- 3) Design Standard for Steel Structure 1979, The Architectural Institute of Japan.
- 4) ACI 318-05, " Building Code Requirements for Structure Concrete", ACI 2005.
- 5) ASCE (American Society of Civil Engineers

<p>저자 소개</p>  <p>피에스기술사사무소 대표 /건설기계기술사/산업기계설비기술사</p> <p>기계공학 기술사 저자(총 21권) http://www.pes21.com 장원기계공업고등학교 졸업(3회) 경남대학교 기계공학과 졸업(83)</p> <p>- 주요 경력</p> <p>1991년 ~ 1998년 : 탈기 및 급수가열기 설계 1999년 ~ 2004년 : 압력용기 및 열교환기 구조설계 2005년 ~ 2006년 : 중저속내연엔진/발전 계통설계 2007년 ~ 현재 : 건설/시공/감리/설계용역</p> <p>- 보유 자격</p> <p>건설기계기술사/산업기계설비기술사 컴퓨터 기계가공 기능사 컴퓨터 정밀기계가공 기능사</p> <p>- 주요 연구 논문</p> <p>1) 배관 플랜지면 부식원인과 대책 방안(영문) 2) 배관 플랜지 가스켓 파손 원인 및 방지책(국문)</p>	<p>3) 지하 매설 배관 열응력에 의한 밸브손상 거동 해석(영문) 4) 방수 콘테이너 사이폰 누수 현상(영문) 5) 차압식 수직축 적층 풍력 발전기(국문) 6) 철골 앵카볼트 문힘 길이에 관한 고찰(국문) 7) 고장력 볼트용 와셔의 최적 설계에 관한 연구(국문) 8) 구조물 보강판 최적 형상에 관한 연구(국문) 9) 파이버 레이저 버(BURR) 발생 메카니즘 10) 열교환기 구조설계 기준 및 튜브 누설 원인</p> <p>- 주요 개발 안내</p> <p>2001년 : 탈기 설계자동화 프로그램 2003년 : 화공열교환기 구조설계 매크로프로그램 2005년 : 압력용기/열교환기 건적 자동화 프로그램 2007년 : 무동력 가압 양수 발전기(발명특허 출원 번호 : 10-2009-0100012) 2012년 : 하이브리드-자연순환식 수차발전기(발명특허 출원 번호 : 10-2012-0143279) 2014년 : 차압식 수직축 적층 풍력타워(발명특허 출원 번호 : 10-2014-0019350) 2014년 : 수직부상 다단 양력형 풍력 터빈(발명특허 출원 번호 : 10-2014-0018416) 2016년 : 코주부 마스크(발명특허 출원번호 : 10-2016-0073104)</p>
--	--

“끝”