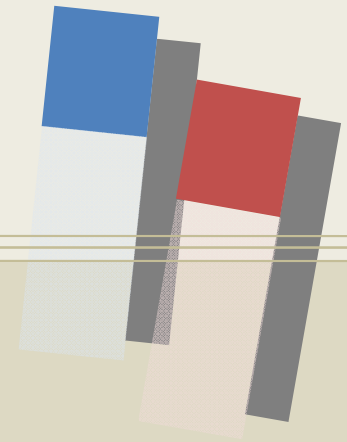


KEPIC-Week, 2019



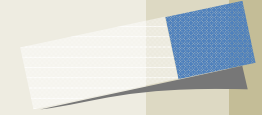
# 지진하중 하의 콘크리트앵커 동적 파괴거동

이인규

전남대학교 토목공학과



# 6장 정착설계 변경사항 요약



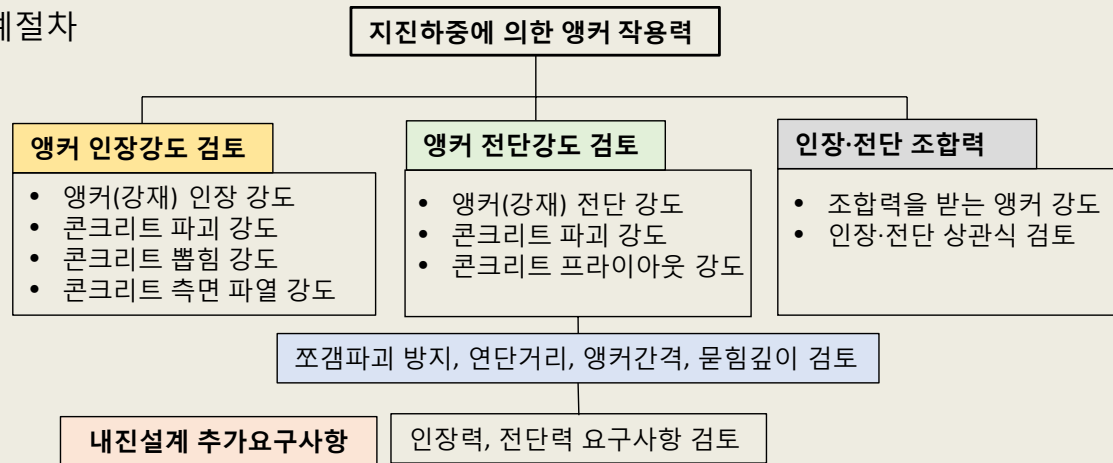
- 정착부에 전달되는 지진하중(인장력, 전단력, 인장-전단 조합력)에 대한 안전성 확보 기준 검토 및 반영
- 앵커부 비연성 파괴를 방지하기 위한 인장력 및 전단력에 대한 추가 요구사항 검토

구분	참조기준	주요 변경사항
주요 참조 기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크리트용 앵커설계기준(KDS 14 20 54: 2016)</li> <li>• ACI 318-14<sup>1)</sup>, ACI 355.2-07, ACI 355.4M-11</li> <li>• 콘크리트구조학회기준(2017)<sup>2)</sup></li> <li>• 송배전설비 내진설계 실무지침서</li> <li>• 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00: 2019)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지진하중에 의한 앵커에 작용하는 인장(전단)력이 총 계수 하중의 20%를 초과하는 경우, 추가적인 지진안전성 확보</li> <li>• 부착식 후설치 앵커 추가(학회기준 인용)</li> </ul>

<sup>1)</sup> ACI 318-14 개정 내용 대부분 준용 예정

<sup>2)</sup> 콘크리트구조학회기준(2017)은 기본적으로 ACI 318-14 개정내용 반영됨

- 정착부 내진설계절차



# 주요 변경사항

## 제6장 정착설계 (현행)

- 6.1 일반사항
- 6.2 설계일반
- 6.3 앵커강도에 관한 일반 규정
- 6.4 인장하중에 대한 설계 조건
  - 6.4.1 앵커의 강재강도
  - 6.4.2 콘크리트 파괴강도
  - 6.4.3 뽑힘 강도
  - 6.4.4 콘크리트 측면파열강도
- 6.5 전단하중에 대한 설계조건
  - 6.5.1 앵커의 강재강도
  - 6.5.2 콘크리트 파괴강도
  - 6.5.3 콘크리트 프라이아웃강도
- 6.6 인장력과 전단력의 동시작용
- 6.7 쪼갬파괴를 방지하기 위한 연단거리, 앵커 간격, 두께

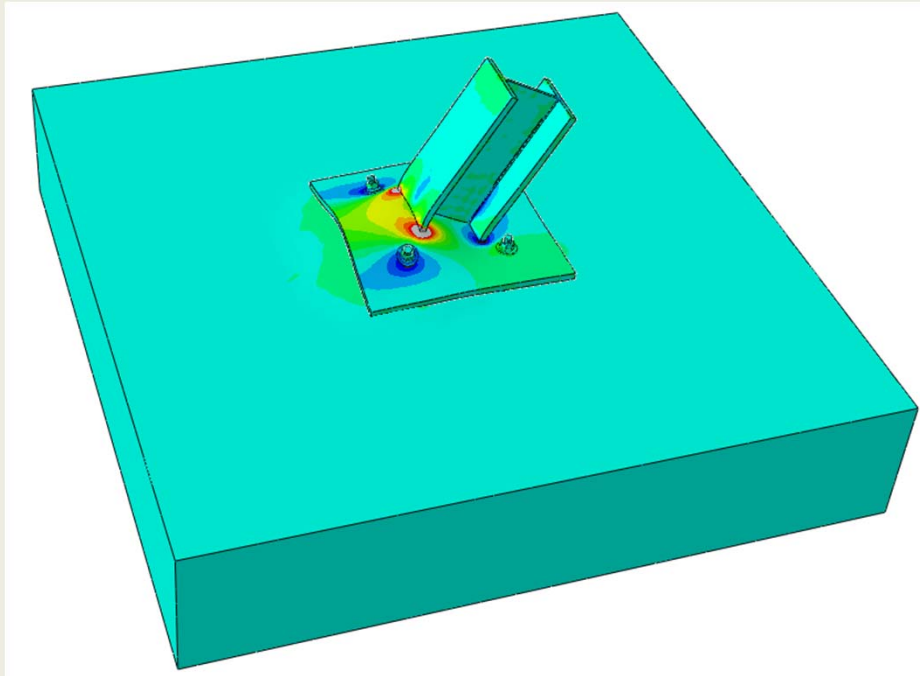


## 제6장 정착설계 (변경후)

- 6.1 일반사항
  - 6.1.2 기호
  - 6.1.3 용어의 정리
- 6.2 설계일반
  - 내진설계 추가요구 사항
- 6.3 앵커강도에 관한 일반 규정
  - 6.3.1 부착식 앵커 규정, 평가하중(표)
- 6.4 인장하중에 대한 설계 조건
  - 6.4.1 앵커의 강재강도
  - 6.4.2 콘크리트 파괴강도
  - 6.4.3 뽑힘 강도
  - 6.4.4 콘크리트 측면파열강도
  - 6.4.5 부착식 앵커의 부착강도
- 6.5 전단하중에 대한 설계조건
  - 6.5.1 앵커의 강재강도
  - 6.5.2 콘크리트 파괴강도
  - 6.5.3 콘크리트 프라이아웃강도
- 6.6 인장력과 전단력의 동시작용
- 6.7 쪼갬파괴를 방지하기 위한 연단거리, 앵커 간격, 두께
  - 부착식 앵커 규정 추가
- 6.8 앵커 설치와 검사
- (공통) 해설 추가

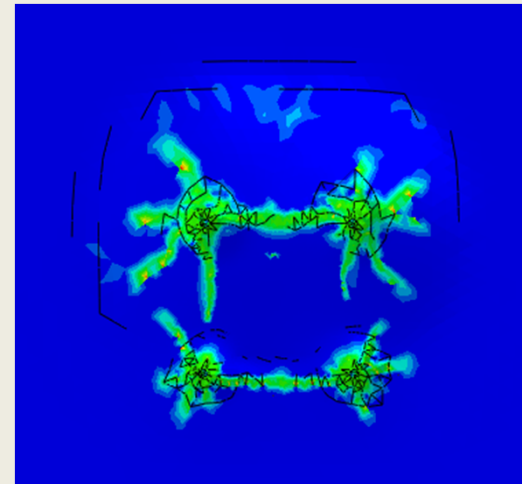


# 지진하중 하 콘크리트 앵커의 파괴거동

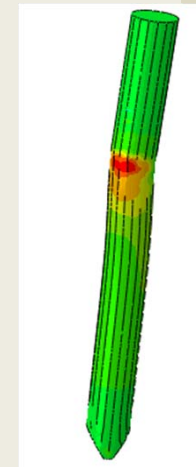


콘크리트 앵커부 동적해석 모델  
(abaqus, DS)

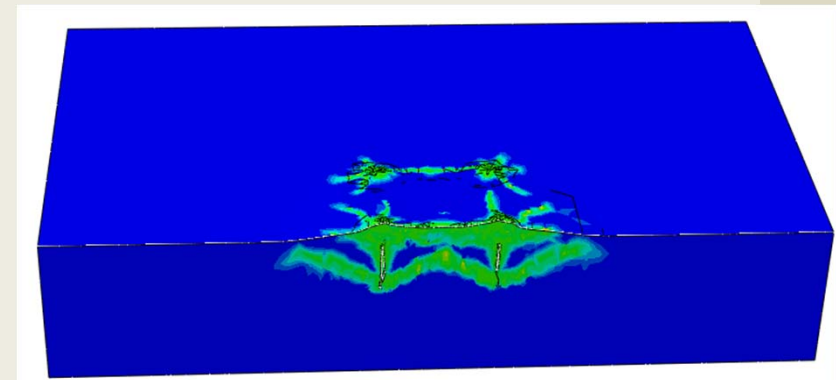
**강재앵커의 연성능력 부족  
(항복영역의 국부화)**



콘크리트 천공홀 주변  
취성 균열 성장



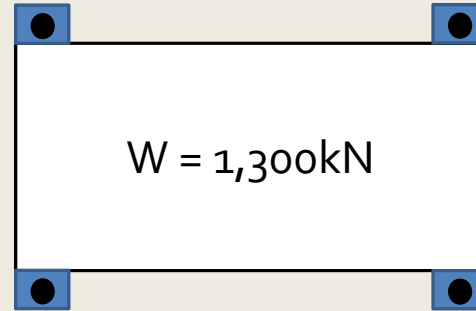
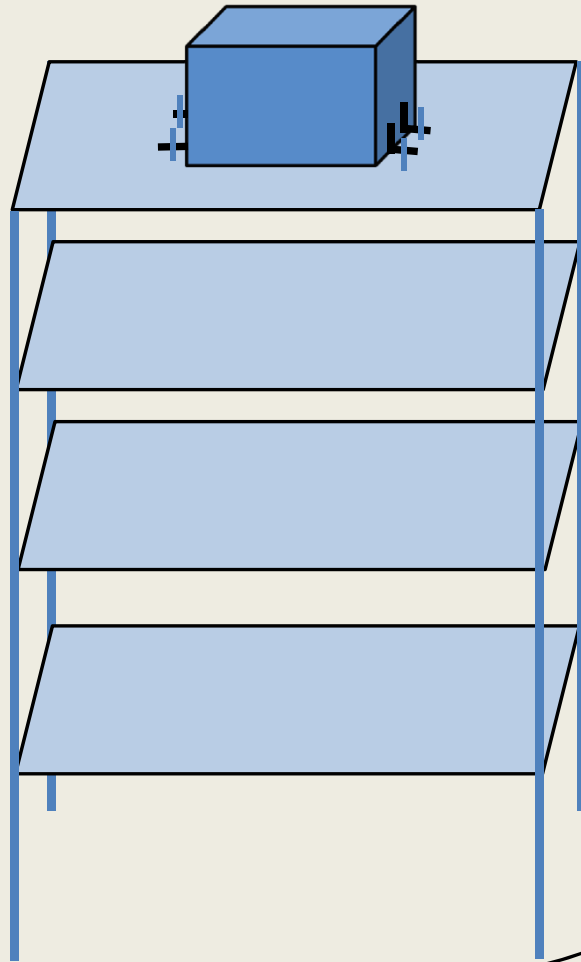
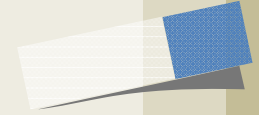
강재앵커  
항복



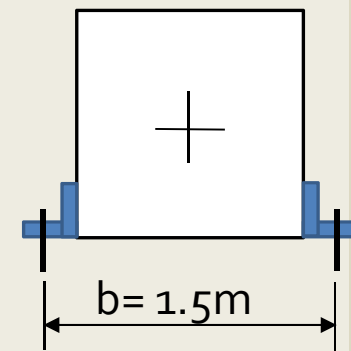
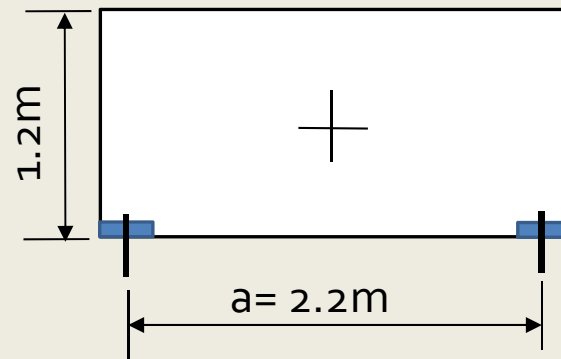
콘크리트 천공홀 주변  
취성 균열 성장 (깊이 방향)



# 앵커설계 예제 (변압기)



내진성능 요구수준  
핵심 가정



1. 선설치 앵커 (연성강재거동)
2. 후설치 확장앵커 (비연성강재거동)

S5 지반

# 등가 정적하중, $F_p$

KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준: 표 18.4-1 기계 및 전기비구조요소의 설계계수  
발전기,배터리,인버터,모터,변압기 및 고변형 재료로 구성된 전기부품 (ASCE 7-16)

$$\alpha_A = \alpha_p = 1, R_p = 2.5, \Omega_o = 2$$

\*ASCE 7-16 규정:

$$F_p = \frac{0.4W_p \alpha_p S_{DS}}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) = \frac{0.4W_p \alpha_p \left(\frac{2}{3} \cdot 2.5F_a \cdot Z \cdot I\right)}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right)$$

4.2.2 단주기와 1초주기 설계스펙트럼가속도

표 19.3-3 변전시설 등 기능유지  
필요한 경우,  $I_p = 1.5$

$Z = 0.11g$ ,  $I = 2.6$  (4800년 기준)

$S = 0.11 \cdot 2.6 = 0.286g$

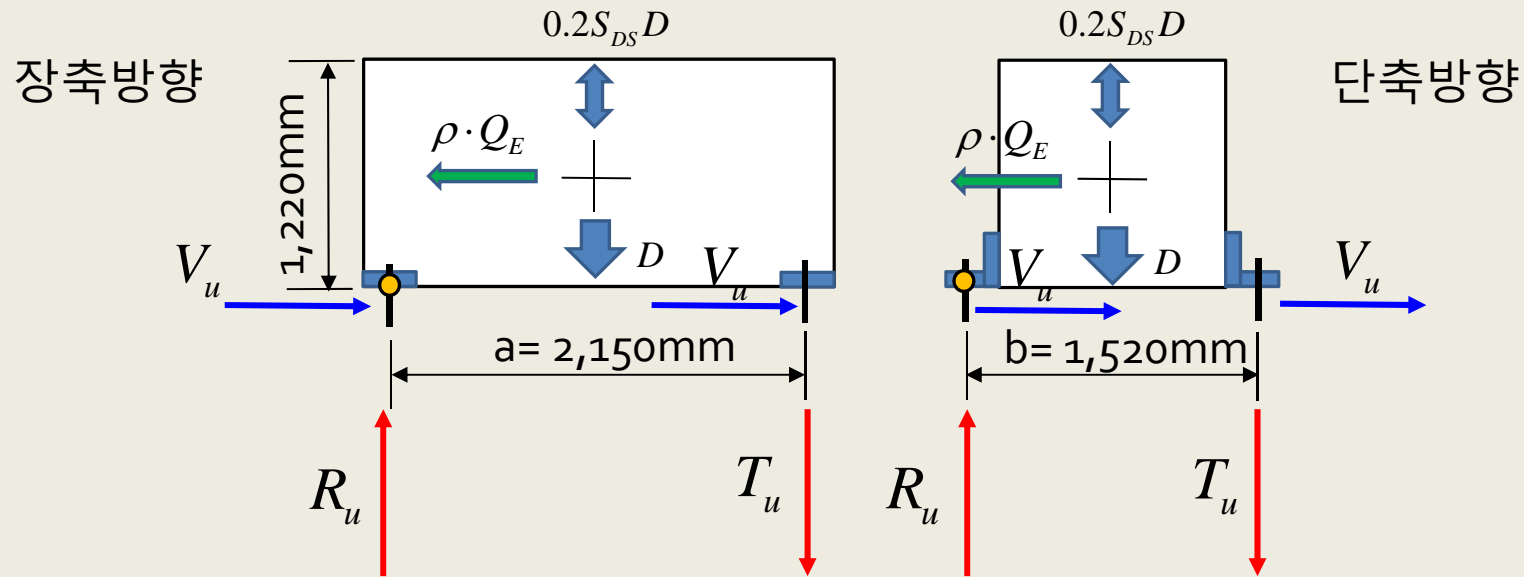
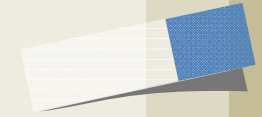
(\*내진성능 요구수준 핵심설비: 0.3g)

$F_a = 1.3 S_5$  기준

$$F_p = \frac{0.4W_p \alpha_p S_{DS}}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) = \frac{0.4 \cdot 1300 \cdot 1 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 2.5 \cdot 1.3 \cdot 0.11 \cdot 2.6\right)}{\left(\frac{2.5}{1.5}\right)} \left(1 + 2\frac{1}{1}\right) = 580kN$$



# 선설치 앵커 설계 (연성강재 항복)



하중조합

$$1.2D - E_v + E_h + L + 0.2S$$

$$0.9D - E_v + E_m \text{ (or } E_h)$$

$$E_v = 0.2S_{DS}D = 0.2 \cdot 0.62 \cdot 1300 = 161kN$$

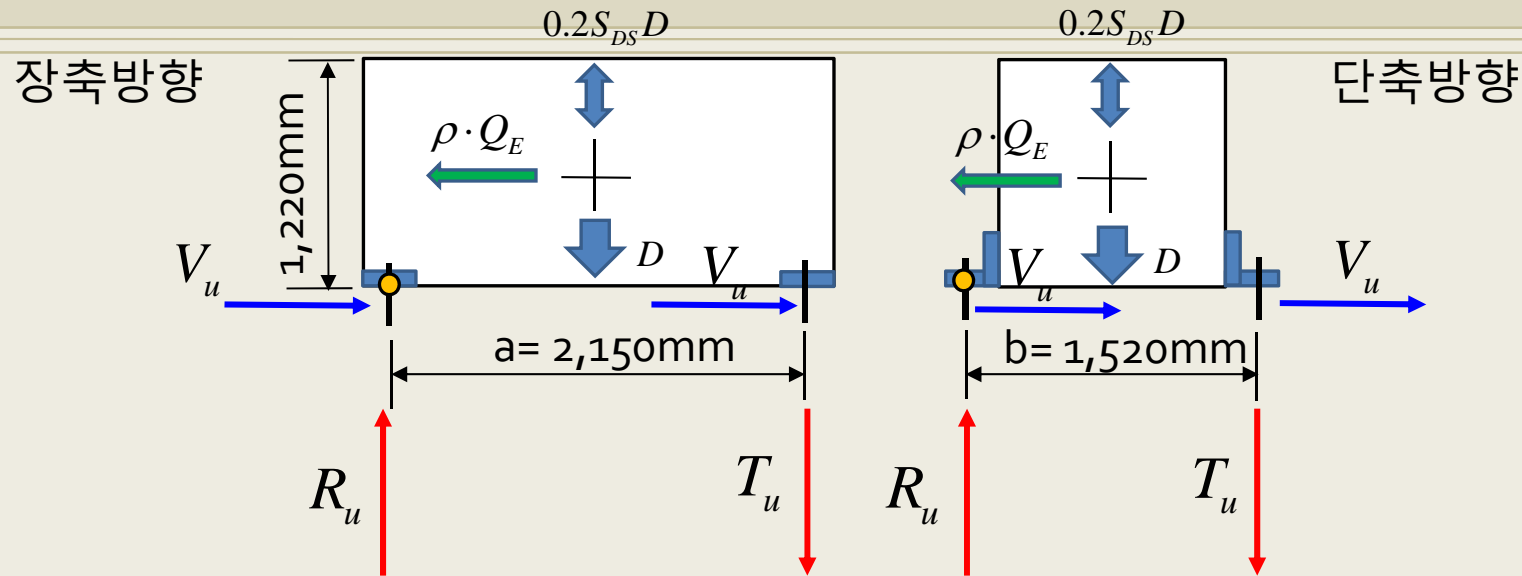
$$E_h = \rho Q_E = 1 \cdot 297.44 = 297.44kN$$

$$E_m = \rho \Omega_o Q_E = 1 \cdot 2 \cdot 297.44 = 595kN$$

$$L + 0.2S = 0$$

\*연성강재 항복의 경우,  $E_h$  콘크리트 취성파괴의 경우,  $E_m$  적용

# 계수하중



$$F_{\mu} = \mu(0.9 - 0.2S_{DS})W_p = 0.4 \cdot (0.9 - 0.2 \cdot 0.62) \cdot 1300 = 403.5 \text{ kN}$$

(볼트당) 
$$U = 0.9D - E_v + E_h$$

1. 계수전단하중: 
$$V_u = \frac{E_h - F_{\mu}}{N_b} = \frac{297.44 - 403.5}{4} = -26.52 \text{ kN} \quad (\text{no sliding})$$

2. 계수인장하중: 
$$\sum M_o = 0; T_u = \frac{(0.9 - 0.2S_{DS})W_p(a/2) - \rho Q_E(1.22/2)}{a}$$

$$= \frac{(0.9 - 0.2 \cdot 0.62) \cdot 1300 \cdot (2.15/2) - 297.44(1.22/2)}{2.15 \cdot 2} = -210.0 \text{ kN} \quad (\text{no tension})$$



# 단일앵커 (연단거리 영향, 편심 없는 경우, 조건B)

$$f_{ck} = 28MPa, A_{se,N} = 84.3mm^2, f_{ya} = 248MPa, f_{uta} = 400MPa, h_{ef} = 150mm$$

## 1. 인장설계

$$\frac{f_{uta}}{f_{ya}} = \frac{400}{248} = 1.61 > 1.3$$

(가) 연성강재 강도

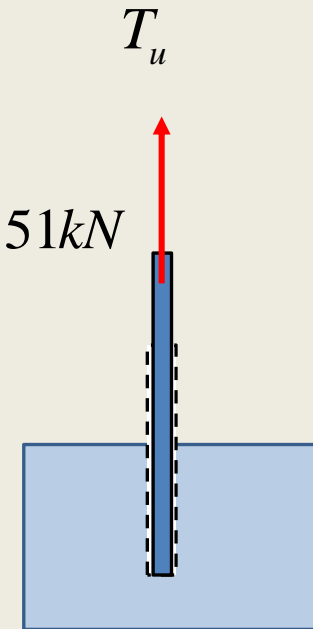
$$\phi N_{sa} = \phi A_{se,N} F_{uta} = 0.75 \cdot 84.3 \cdot 400 = 25.3kN(M12)$$

(나) 콘크리트 파괴강도

$$0.75\phi N_b = 0.75\phi k_c \lambda \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5} = 0.75 \cdot 0.7 \cdot 10 \cdot 1 \cdot \sqrt{28} \cdot 150^{1.5} = 51kN$$

$$\phi N_N = \phi N_{sa}$$

연성강재 항복:  $f_a = \frac{25300N}{84.3mm^2} = 300MPa > f_{ya} = 248MPa$



# 단일앵커 (연단거리 영향, 편심없는 경우, 조건B)

## 2. 전단설계

$$f_{ck} = 28MPa, A_{se,N} = 84.3mm^2, f_{ya} = 248MPa, f_{uta} = 400MPa$$

$$\frac{f_{uta}}{f_{ya}} = \frac{400}{248} = 1.61 > 1.3$$

(가) 연성강재 강도

$$\phi V_{sa} = \phi 0.6 A_{se,V} F_{uta} = 0.65 \cdot 0.6 \cdot 84.3 \cdot 400 = 13.2kN (M12)$$

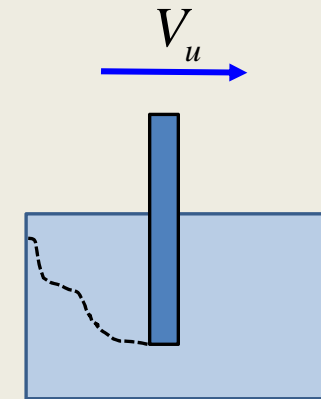
(나) 콘크리트 프라이아웃강도

$$\phi V_{cp} = \phi k_{cp} N_{cb} = \phi k_{cp} N_{sa} = 0.7 \cdot 2.0 \cdot 84.3 \cdot 400 = 47.2kN$$

$$\phi V_N = \phi V_{sa}$$

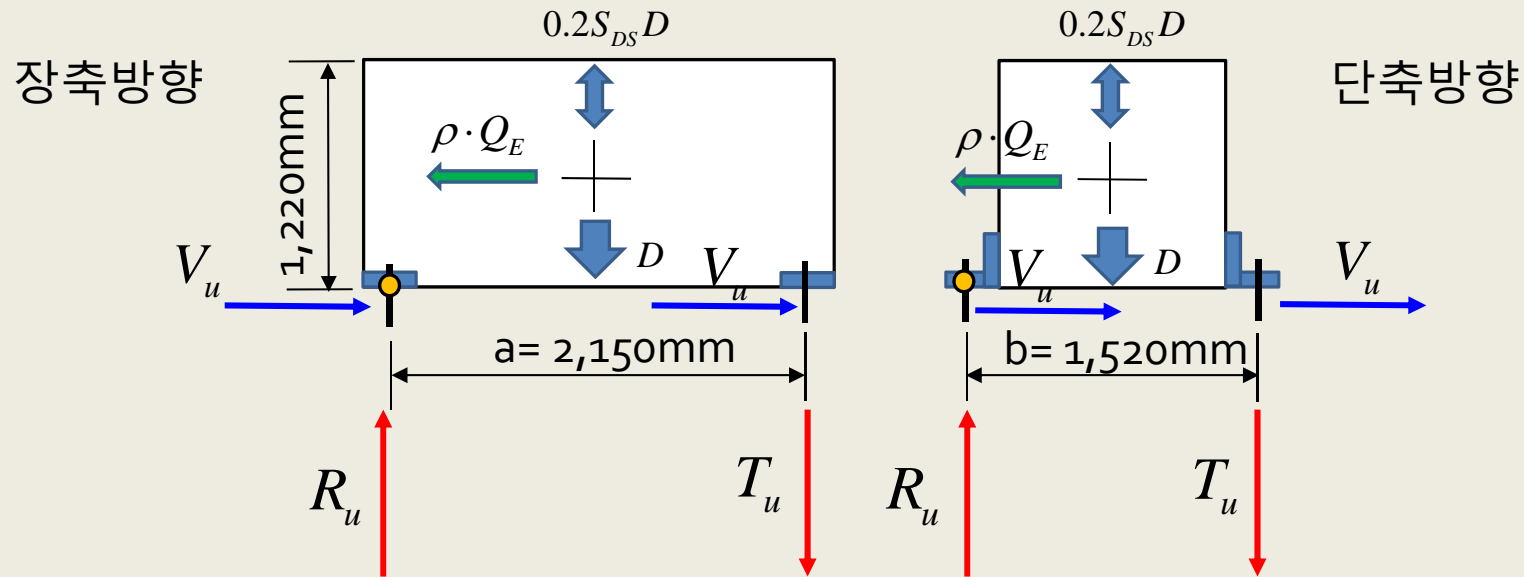
## 3. 인장/전단 조합

$$\frac{N_u}{\phi N_N} + \frac{V_u}{\phi V_N} = \frac{0}{25.3kN} + \frac{0}{13.2kN} = 0 < 1.2$$





# 후설치 확장앵커 설계 (콘크리트 취성파괴)



하중조합

$$1.2D - E_v + E_h + L + 0.2S$$

$$0.9D - E_v + E_m \text{ (or } E_h \text{)}$$

$$E_v = 0.2S_{DS}D = 0.2 \cdot 0.62 \cdot 1300 = 161kN$$

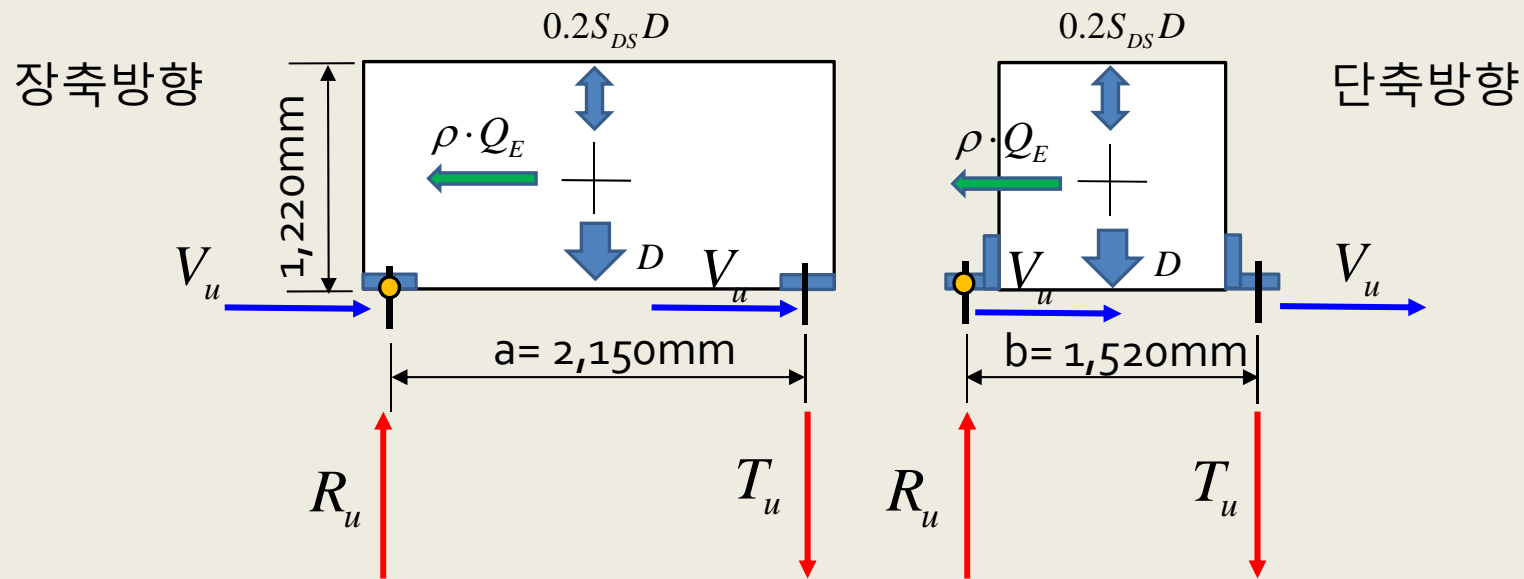
$$E_h = \rho Q_E = 1 \cdot 297.44 = 297.44kN$$

$$E_m = \rho \Omega_o Q_E = 1 \cdot 2 \cdot 297.44 = 595kN$$

$$L + 0.2S = 0$$

\*연성강재 항복의 경우,  $E_h$  콘크리트 취성파괴의 경우,  $E_m$  적용

# 계수하중



(볼트당)

1. 계수전단하중:

$$U = 0.9D - E_v + E_m$$

$$V_u = \frac{E_m - F_\mu}{N_b} = \frac{595 - 404}{4} = 47.75 \text{ kN}$$

2. 계수인장하중:

$$\sum M_o = 0; T_u = \frac{(0.9 - 0.2S_{DS})W_p(a/2) - \rho\Omega_o Q_E(1.22/2)}{a}$$

$$= \frac{(0.9 - 0.2 \cdot 0.62) \cdot 1300 \cdot (2.15/2) - 595(1.22/2)}{2.15 \cdot 2} = -167.8 \text{ kN}$$

(no tension)

# 단일앵커 (연단거리 영향, 편심 없는 경우, 조건B)

$$f_{ck} = 28MPa, A_{se,N} = 353mm^2, f_{ya} = 248MPa, f_{uta} = 400MPa, h_{ef} = 150mm$$

## 1. 인장설계

$$\frac{f_{uta}}{f_{ya}} = \frac{400}{248} = 1.61 > 1.3$$

(가) 연성강재 강도

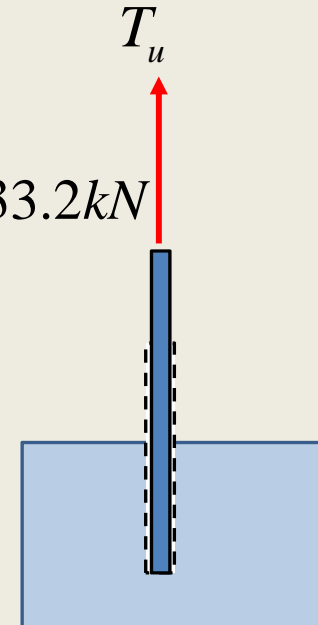
$$\phi N_{sa} = \phi A_{se,N} F_{uta} = 0.75 \cdot 353 \cdot 400 = 106kN (M 24)$$

(나) 콘크리트 파괴강도

$$0.75\phi N_b = 0.75\phi k_c \lambda \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5} = 0.75 \cdot 0.65 \cdot 7 \cdot 1 \cdot \sqrt{28} \cdot 150^{1.5} = 33.2kN$$

$$\phi N_N = 0.75\phi N_b$$

$$\text{연성강재 항복: } f_a = \frac{106,000N}{353mm^2} = 300MPa > f_{ya} = 248MPa$$



# 단일앵커 (연단거리 영향, 편심없는 경우, 조건B)

## 2. 전단설계

$$f_{ck} = 28MPa, A_{se,N} = 353mm^2, f_{ya} = 248MPa, f_{uta} = 400MPa$$

$$\frac{f_{uta}}{f_{ya}} = \frac{400}{248} = 1.61 > 1.3$$

(가) 연성강재 강도

$$\phi V_{sa} = \phi 0.6 A_{se,V} F_{uta} = 0.65 \cdot 0.6 \cdot 353 \cdot 400 = 55.1kN (M 24)$$

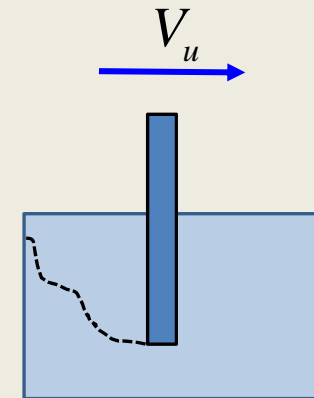
(나) 콘크리트 프라이아웃강도

$$\phi V_{cp} = \phi k_{cp} N_{cb} = \phi k_{cp} N_{sa} = 0.7 \cdot 2.0 \cdot 353 \cdot 400 = 198kN$$

$$\phi V_N = \phi V_{sa}$$

## 3. 인장/전단 조합

$$\frac{N_u}{\phi N_N} + \frac{V_u}{\phi V_N} = \frac{0}{33.2kN} + \frac{47.5kN}{55.1kN} = 0.86 < 1.2$$

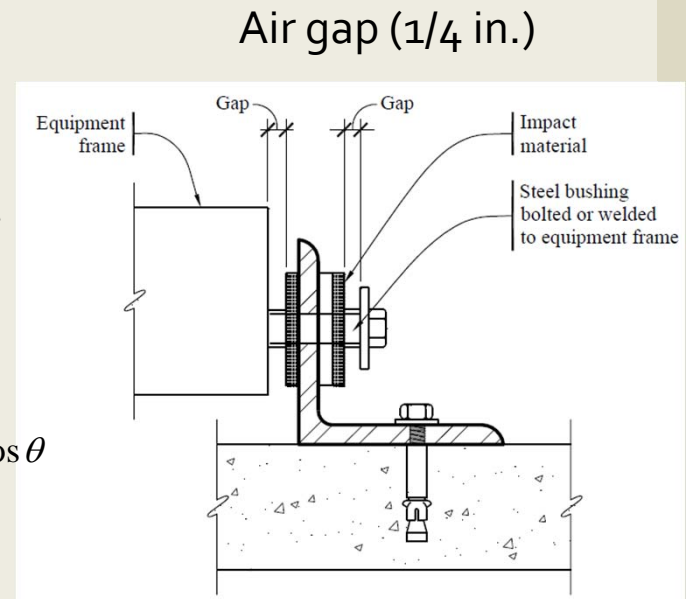
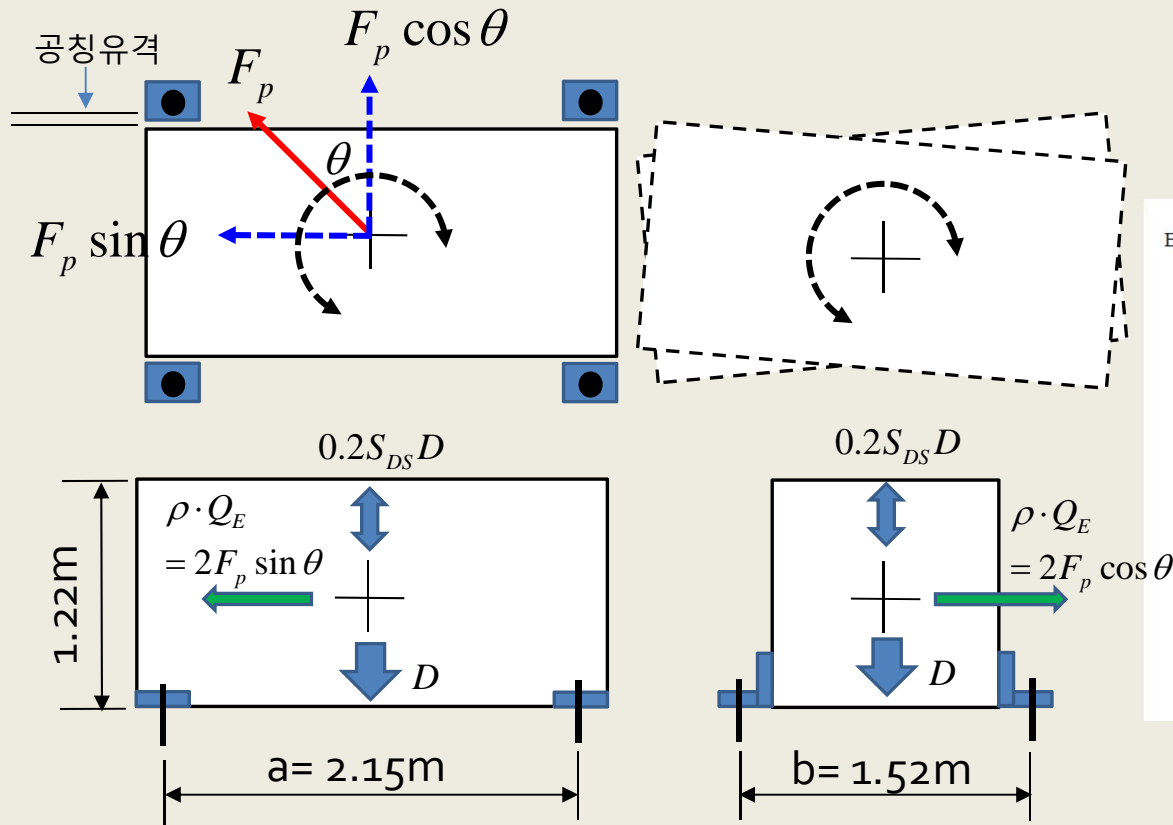




# 정착부 유격이 있는 경우

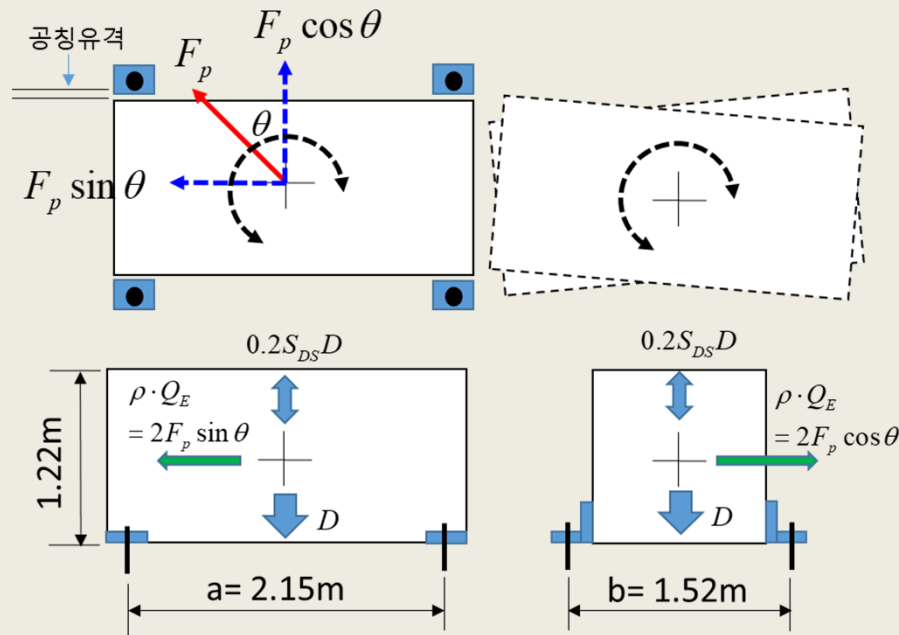
KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준: 표 18.4-1 기계 및 전기비구조요소의 설계계수  
발전기, 배터리, 인버터, 모터, 변압기 및 고변형 재료로 구성된 전기부품 (ASCE 7-16)

- b. 방진 장치에 장착된 부품은 각 수평 방향으로 범퍼구속 또는 완충장치가 있어야 한다. 설계하중은 공칭유격이 6mm보다 큰 경우  $2F_p$ 로 할 수 있다.
- c. 초과강계수는 콘크리트 및 조적조에 비연성앵커가 사용되었을 경우 적용한다



$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{a}{b} \right)$$

# 정착부 유격이 있는 경우



$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{a}{b} \right)$$

$$T_u = \frac{(1 - 0.2S_{DS})W_p}{4} - \frac{2F_p h}{2} \left( \frac{\sin \theta}{a} + \frac{\cos \theta}{b} \right)$$

$$C_u = \frac{(1 + 0.2S_{DS})W_p}{4} + \frac{2F_p h}{2} \left( \frac{\sin \theta}{a} + \frac{\cos \theta}{b} \right)$$

$$V_u = \frac{2F_p}{4}$$



# 등가 정적하중, $F_p$ (유격이 있는 경우)

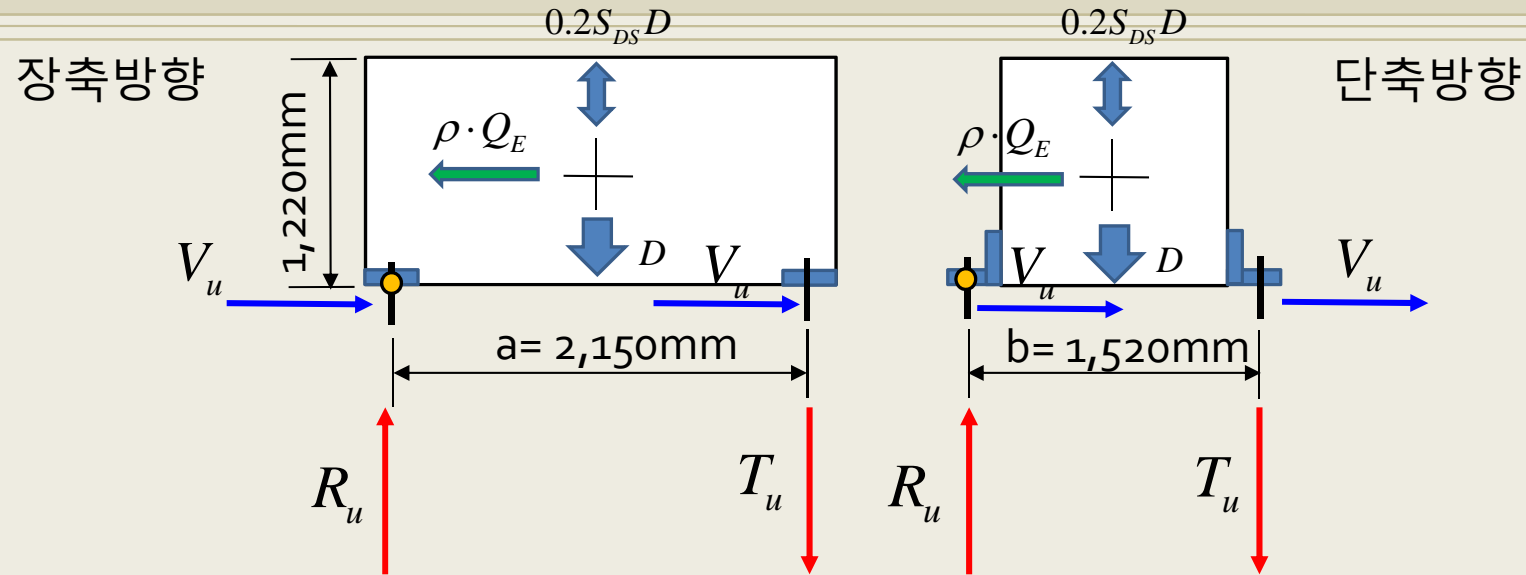
KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준, ASCE 7-16

$$F_p = \frac{0.4W_p \alpha_p S_{DS}}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) = \frac{0.4 \cdot 1300 \cdot 1 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 2.5 \cdot 1.3 \cdot 0.11 \cdot 2.6\right)}{\left(\frac{2.5}{1.5}\right)} \left(1 + 2\frac{1}{1}\right) = 580kN$$

$$0.3S_{DS}I_pW_p \leq F_p \leq 1.6S_{DS}I_pW_p \quad 363kN \leq F_p \leq 1,934kN$$

$$\rho Q_E = 2F_p = 1,160kN$$

# 하중조합



하중조합

$$1.2D - E_v + E_h + L + 0.2S$$

$$0.9D - E_v + E_m \text{ (or } E_h \text{)}$$

$$E_v = 0.2S_{DS}D = 0.2 \cdot 0.62 \cdot 1300 = 161kN$$

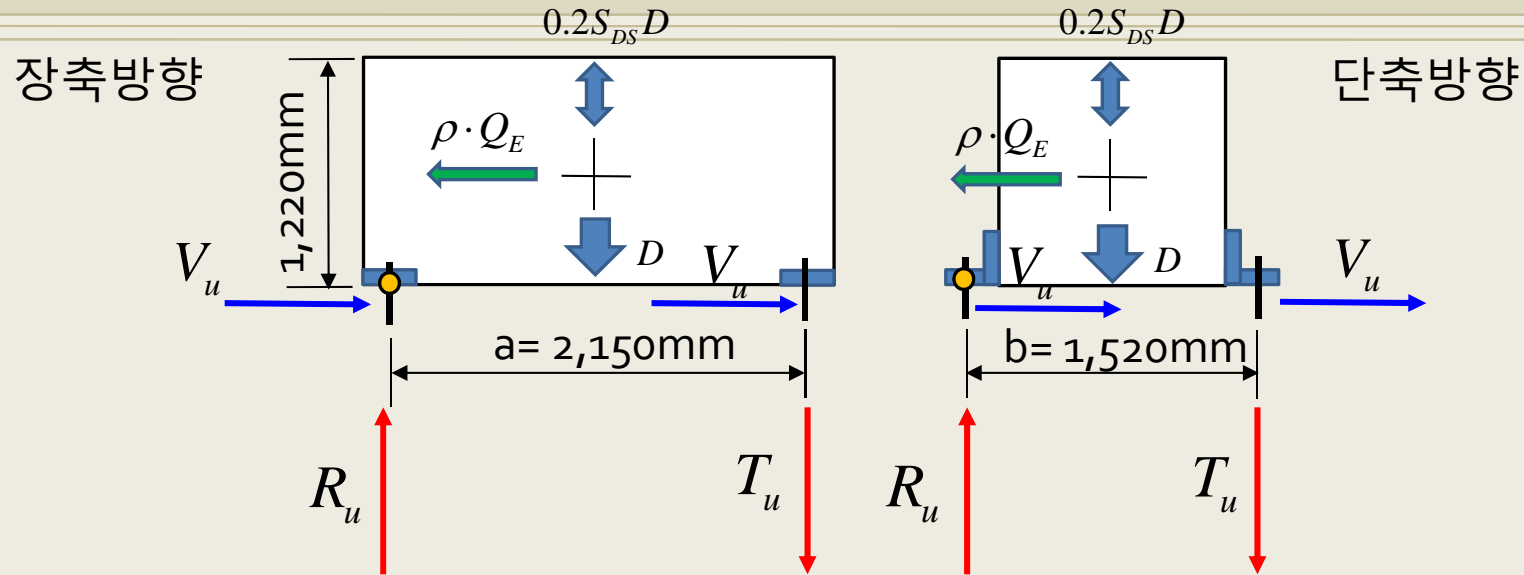
$$E_h = \rho Q_E = 1 \cdot 595 = 595kN$$

$$E_m = \rho \Omega_o Q_E = 1 \cdot 2 \cdot 595 = 1,190kN$$

$$L + 0.2S = 0$$

\*연성강재 항복의 경우,  $E_h$  콘크리트 취성파괴의 경우,  $E_m$  적용

# 계수하중 (유격이 있는 경우)



$$U = 0.9D - E_v + E_h \text{ (or } E_m \text{)}$$

1. 계수전단하중: 
$$V_u = \frac{E_m - F_\mu}{N_b} = \frac{1,190 - 403.5}{4} = 197kN \quad (\text{볼트당})$$

# 계수하중 (유격이 있는 경우)

2. 계수인장하중:

$$\begin{aligned} \sum M_o = 0; T_u &= \frac{0.9W_p - 0.2S_{DS}W_p}{4} - \frac{2F_p \cdot h}{2} \left( \frac{\cos \theta}{b} + \frac{\sin \theta}{a} \right) \\ &= \frac{0.9 \cdot 1,300 - 0.2 \cdot 0.62 \cdot 1,300}{4} - \frac{1,190 \cdot 1.22}{2} \left( \frac{\cos 51.8^\circ}{1.52} + \frac{\sin 51.8^\circ}{2.15} \right) = 308kN \end{aligned}$$

초과강도계수 사용:  $E_m = \rho \Omega_o Q_E \rightarrow U = 0.9D - 0.2S_{DS}D + \rho \Omega_o Q_E$

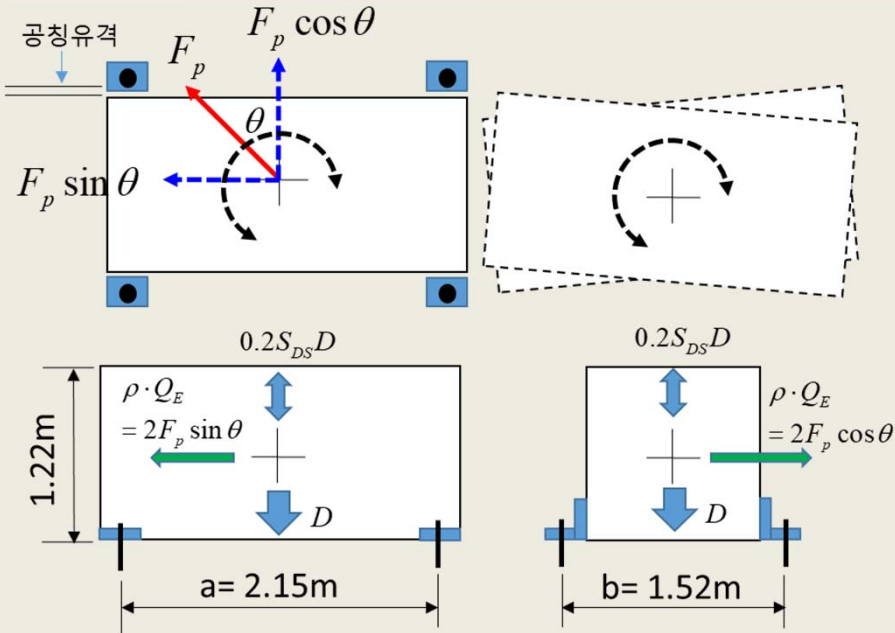
$$\begin{aligned} \sum M_o = 0; T_u &= \frac{0.9W_p - 0.2S_{DS}W_p}{4} - \Omega_o \frac{2F_p \cdot h}{2} \left( \frac{\cos \theta}{b} + \frac{\sin \theta}{a} \right) \\ &= \frac{0.9 \cdot 1,300 - 0.2 \cdot 0.62 \cdot 1,300}{4} - 2 \cdot \frac{1,190 \cdot 1.22}{2} \left( \frac{\cos 51.8^\circ}{1.52} + \frac{\sin 51.8^\circ}{2.15} \right) = 869kN \end{aligned}$$

(볼트당)

1. 계수전단하중\*:  $V_u = \frac{\Omega_o E_m - F_\mu}{N_b} = \frac{2 \cdot 1,190 - 403.5}{4} = 494kN$  (볼트당)



# 정착부 진동격리 스프링이 있는 경우

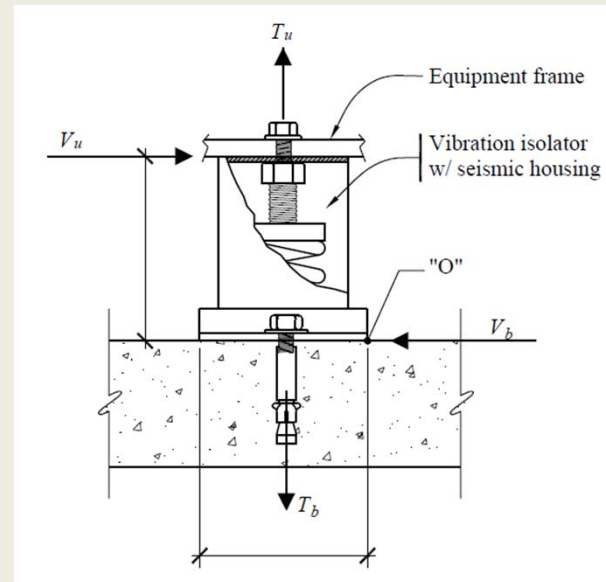


$$T_u = \frac{(1 - 0.2S_{DS})W_p}{4} - \frac{2F_p h}{2} \left( \frac{\sin \theta}{a} + \frac{\cos \theta}{b} \right)$$

$$C_u = \frac{(1 + 0.2S_{DS})W_p}{4} + \frac{2F_p h}{2} \left( \frac{\sin \theta}{a} + \frac{\cos \theta}{b} \right)$$

$$V_u = \frac{2F_p}{4}$$

ASCE 7-16



진동격리된 부품 및 시스템

탄성중합체 완충장치 또는 탄성주변정지장치를 가진 스프링 격리 장치 및 진동격리 바닥으로 격리된 요소 및 시스템

$$\alpha_A = \alpha_p = 2.5, R_p = 2, \Omega_o = 2$$

# 등가 정적하중, $F_p$

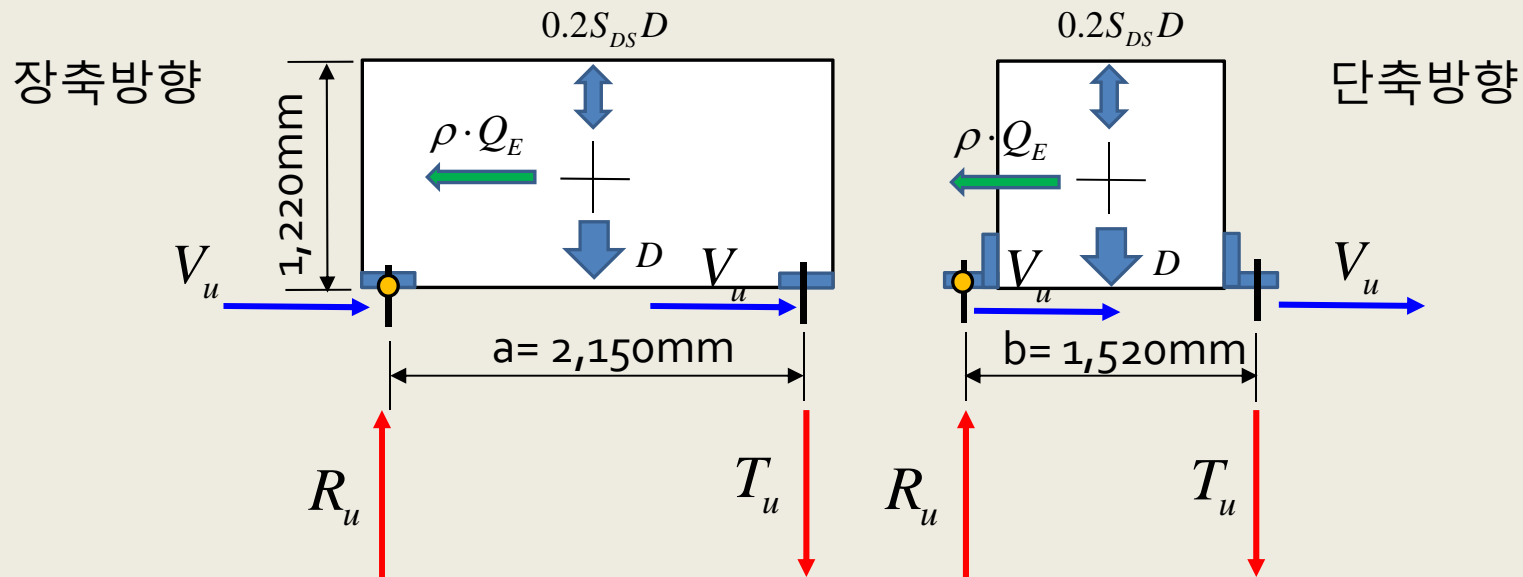
KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준, ASCE 7-16

$$F_p = \frac{0.4W_p \alpha_p S_{DS}}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) = \frac{0.4 \cdot 1300 \cdot 2.5 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 2.5 \cdot 1.3 \cdot 0.11 \cdot 2.6\right)}{\left(\frac{2}{1.5}\right)} \left(1 + 2\frac{1}{1}\right) = 1,813kN$$

$$0.3S_{DS} I_p W_p \leq F_p \leq 1.6S_{DS} I_p W_p \quad 363kN \leq F_p \leq 1,934kN$$

$$\rho Q_E = 2F_p = 3,626kN$$

# 계수하중



$$U = 0.9D - E_v + E_h \text{ (or } E_m \text{)}$$

1. 계수전단하중:  $V_u = \frac{E_m - F_\mu}{N_b} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 929.5 - 403.5}{4} = 829kN \text{ (볼트당)}$

# 계수하중

2. 계수인장하중:

$$\begin{aligned} \sum M_o = 0; T_u &= \frac{0.9W_p - 0.2S_{DS}W_p}{4} - \frac{2F_p \cdot h}{2} \left( \frac{\cos \theta}{b} + \frac{\sin \theta}{a} \right) \\ &= \frac{0.9 \cdot 1,300 - 0.2 \cdot 0.62 \cdot 1,300}{4} - \frac{1,859 \cdot 1.22}{2} \left( \frac{\cos 51.8^\circ}{1.52} + \frac{\sin 51.8^\circ}{2.15} \right) = 624kN \end{aligned}$$

초과강도계수 사용:  $E_m = \rho \Omega_o Q_E \rightarrow U = 0.9D - 0.2S_{DS}D + \rho \Omega_o Q_E$

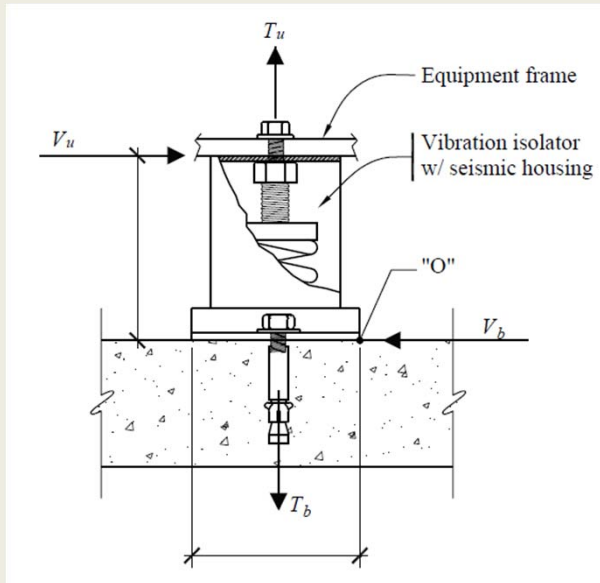
$$\begin{aligned} \sum M_o = 0; T_u &= \frac{0.9W_p - 0.2S_{DS}W_p}{4} - \Omega_o \frac{2F_p \cdot h}{2} \left( \frac{\cos \theta}{b} + \frac{\sin \theta}{a} \right) \\ &= \frac{0.9 \cdot 1,300 - 0.2 \cdot 0.62 \cdot 1,300}{4} - 2 \cdot \frac{1,859 \cdot 1.22}{2} \left( \frac{\cos 51.8^\circ}{1.52} + \frac{\sin 51.8^\circ}{2.15} \right) = 1,500kN \end{aligned}$$

(볼트당)

\* 앵커 설계강도 보다 낮은 하중수준에서 항복하여, 연성거동을 할 지지구조가 없기 때문에 초과강도계수를 사용하여, 콘크리트 파괴강도 기준으로 정착부 설계

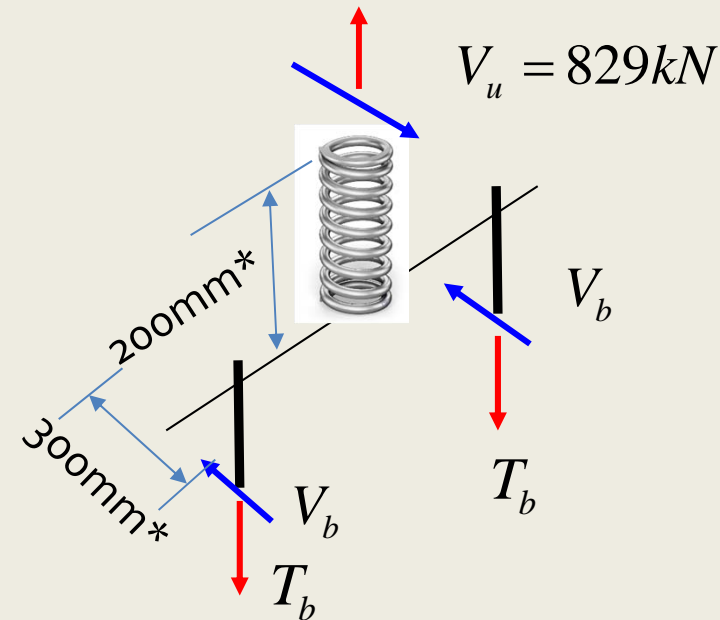


# 단일앵커 정착부 설계



(볼트당)

$$T_u = 1,813kN$$



\*실제 격리장치 규모 적용 필요

$$T_b = \frac{T_u - k_{sv} \Delta_v}{n} + (V_u - k_{sh} \Delta_h)$$

$$V_b = \frac{V_u - k_{sh} \Delta_h}{2}$$