

Angle형 기기 정착부의 성능평가에 관한 실험적 연구
A study on the experimental evaluation of an Angle Type
Anchorage System

김강식¹⁾ 서용표²⁾ 유원진³⁾ 김갑순⁴⁾
Kim, Kang Sik Suh, Yong Pyo Yu, Won Jin Kim, Kap Sun

ABSTRACT

A typical case where the effects of prying in the base angle type anchorage system with expansion bolt. This connection consists of an angle which is attached to an equipment cabinet and bolted to a concrete slab via an expansion bolt. A seismic analysis of the cabinet may indicate a vertical load, P , transferred to the vertical leg of the angle due to overturning of the cabinet. Due to the eccentricity, $b(e)$, and the continuous beam action in the base member, the load resisted by the bolt will be amplified by a factor λ . Thus, in this study, experimental evaluation of the anchorage system is executed.

1. 서론

기기를 기초에 정착하기 위해서는 기초 콘크리트에 CIP(Cast-In-Placed) 앵커볼트 또는 Expansion 볼트를 설치하고 기기 저부에 일체식 또는 조립식으로 부착되어 있는 Base Plate와 조립하여 너트를 체결하도록 되어있다. 본 연구에서는 일부 제어기기의 저부에 기기 정착용으로 설치되는 Angle형 기초시스템에 있어서 제어기기에 횡하중이 작용하여 기기 저부에 전도모멘트가 발생하면 기초 콘크리트면의 수직방향으로 인장력 또는 압축력을 받게된다. 이때 발생된 인장력은 Angle형 형강에 휨변형을 일으키면서 지렛대 효과(Prying)에 의해 기기 Base Plate(Angle)와 기초 콘크리트를 연결하는 앵커볼트에는 편심하중에 의한 추가적인 지레력(Prying Force)이 작용하게 된다. 추가적인 지레력은 고정부의 파괴에 중요한 요소가 된다.

본 연구에서는 인장력과 지레력을 동시에 받는 Angle형 기초시스템의 극한하중 및 지레력을 게이지 거리(b), 연단거리(a), 앵커볼트의 축강성, 앵글 횡지지 강성을 변수로 하여 실험을 수행하고

1) 한국전력공사 전력연구원 선임보연구원, 정회원
2) 한국전력공사 전력연구원 선임연구원, 정회원
3) 한국전력공사 전력연구원 선임연구원
4) 한국전력공사 전력연구원 일반연구원

기존의 해석적 연구결과¹로 제시한 지레력 및 하중증폭계수(λ : Prying Factor)와 비교 검토하여 실질적인 거동을 파악하고자 하였다. 기존의 해석적 연구는 시공자료가 없는 기존에 설치되어 있는 Angle형 기초시스템의 성능을 평가하기 위하여 수치해석적 방법으로 단순화된 해석모델을 제시하였고, 그의 결과로 앵커볼트에 작용하는 하중증폭계수(λ)를 계산하였다.

2. Angle형 기초시스템의 지레현상

2.1 Angle형 기초시스템

그림 1, 2 와 같이 제어기기의 저부에 설치되어있는 Angle형 형강은 기초 콘크리트에 확장형 앵커볼트(Expansion Bolt)로 체결되어 있다. 그림 2 에서와 같이 지진력과 같은 횡하중에 의해 제어기기의 저부에 전도모멘트가 발생됨에 따라 인장력(T)은 Angle형 형강에 휩변형을 유발시킨다.

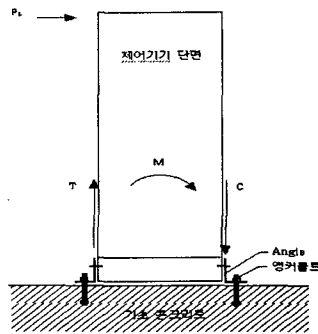


그림 1 제어기기 저부

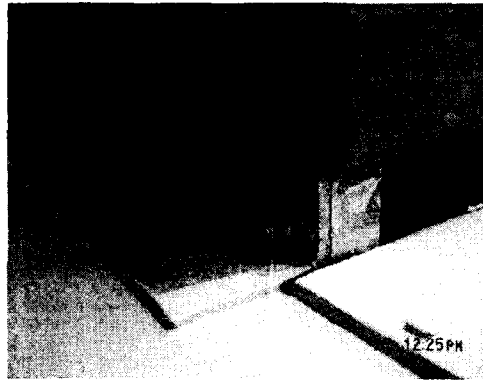


그림 2 제어기기 저부 Angle형 기초

2.2 지레대 현상

그림 3 은 제어기기 저부 Angle형 기초 형상을 일반화한 것이다. a 와 b(e)는 연단거리와 게이지(편심)거리를 나타낸다. 그림 3 에서처럼 수직방향 인장력(P)이 작용하게 되면 콘크리트 면에 부착되어있는 Angle Flange 단면상에 앵글끝의 콘크리트 지점, 앵커볼트 체결 지점, 하중(P) 작용점과 이의 거리 비(a, b)에 의한 지레작용(Prying Action)으로 앵커볼트에 작용되는 축하중 증폭계수(λ)는 식(1)에서와 같이 단순 계산 할 수 있다.

$$\lambda = \frac{(a+b)}{a} \quad (1)$$

그러므로 작용하중(P)가 작용되면 앵커볼트에 도입되는 축력은 $\lambda \cdot P$ 로 나타낼 수 있다.

그러나, 많은 지레 효과(Prying Effect)관련 이론서를 참고하여보면 지레효과는 식(1)의 기하학적 관계식과 함께 그림 4 에서 알 수 있듯이 앵커볼트의 축강성(K_2), Angle의 횡지지 강성(K) 및 Angle자체의 휨강성에 관한 함수로 표현 가능하다는 것을 알 수 있다.

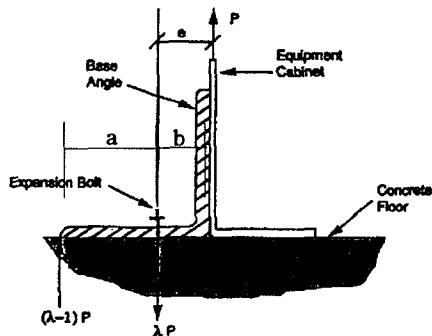


그림 3 단순화 형상

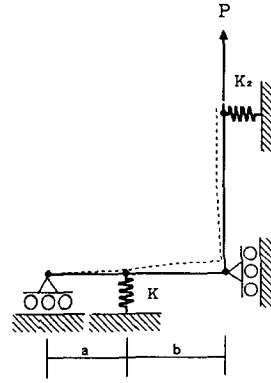


그림 4 해석모델

3. 기존연구¹⁾

3.1 해석모델

기존연구에서는 Angle형 기초시스템에서 고정용 앵커볼트에 작용하는 하중증폭계수(λ)를 제시하기 위해서 그림 3 의 단면형상을 그림 4과 같이 Beam요소로 모델링하여 탄성해석을 수행하였다. 기존연구에서 해석시 적용한 앵커볼트의 축강성(K), Angle의 횡지지 강성(K_2), 앵글의 규격(휨강성)은 표 1, 2, 3과 같다.

표 1 앵커볼트의 축강성(K)

Bolt Diameter		Bolt Stiffness (kips/Inch)
Inch	mm	
3/8	10	159
5/8	16	645
3/4	20	1,098

표 2 횡지지강성(K_2)

K_2 (kips/inch)	비 고
0.345	기준
3.450	
34.500	

표 3 Angle 규격(휨강성)

Section Name	W (inch)	tf (inch)	L (inch)	a (inch)	b (inch)
4" x 4" x 1/4"	4"	1/4"	4"	1.5"	2.5"
4" x 4" x 1/2"	4"	1/2"	4"	1.5"	2.5"
4" x 4" x 3/4"	4"	3/4"	4"	1.5"	2.5"

3.2 해석결과

표 4 에 앵커볼트에 걸리는 하중중폭계수(λ)의 계산치(λ_{cal})와 해석에 의한 하중중폭계수(λ_{fem})를 나타내었다. 계산치(λ_{cal})와 탄성해석치(λ_{fem})의 변화는 Angle의 크기(휨강성) 및 앵커볼트 직경(앵커볼트의 축강성(K))에 따라 변화되고 있음을 알 수 있다.

표 4 하중중폭계수(λ) 계산치-해석치 비교표

Section Name	Bolt Diameter	a	b	하중중폭계수 계산치 $\lambda_{cal}=(a+b)/a$	하중중폭계수 탄성해석 λ_{fem}
4" x 4" x 1/4"	3/8"	1.5"	2.5"	2.67	2.54
	5/8"			2.67	2.56
	3/4"			2.67	2.57
4" x 4" x 1/2"	3/8"	1.5"	2.5"	2.67	2.61
	5/8"			2.67	2.64
	3/4"			2.67	2.65
4" x 4" x 3/4"	3/8"	1.5"	2.5"	2.67	2.62
	5/8"			2.67	2.65
	3/4"			2.67	2.66

4. 실험

4.1 실험변수 및 실험체 형상

기존의 해석적 연구에서 제시한 하중중폭계수(λ_{fem})에 관하여 실험적으로 검증하고 차후 해석적 연구방향 설정을 위하여 실험변수는 다음과 같이 설정하였다.

- 1) Angle규격(휨강성), 앵커볼트의 직경(앵커볼트 축강성(K)), 횡지지 강성(K_2)의 변화에 따른 지레효과
- 2) a, b(e)의 변화에 따른 지레효과
- 3) Angle의 길이(L) 변화에 따른 지레효과

Angle실험체는 US단위 부재인 4"x4"x1/4", 4"x4"x1/2", 4"x4"x3/4"을 적용하는 것이 현실적인 어려움이 있어 L100x100x7, L100x100x10, L100x100x13의 Angle을 단위길이(L)를 100mm로 한 실험체를 기준실험체로 제작하였다. 앵커볼트는 US단위인 직경 3/8", 5/8", 3/4" 규격을 SI단위인 직경10mm, 16mm, 20mm의 앵커볼트로 선정하였고, Angle의 길이(L) 변화에 따른 지레효과를 고려하기 위하여 길이를 100mm, 150mm, 200mm로 한 Angle을 제작하였다. 실험은 그림 5 와 같이 가력 frame을 조립하여 구성하였고 Angle실험체의 횡지지 강성(K_2) 구현을 위하여 원형봉강의 휨강성을 이용하였다.

본 실험연구에서는 기 시공된 앵커시스템을 실험적으로 모사하기 위하여 아래와 같이 조건을 정의 하였다.

- 1) 앵커볼트의 축강성은 하중-축변위로 가정
- 2) 앵커볼트에 도입되는 축력 계측을 위하여 기초용 강판에 앵커볼트체결용 홀 가공 사용
- 3) 가력하중은 Anchor Bolt의 항복시까지 가력, 기준하중으로 정의

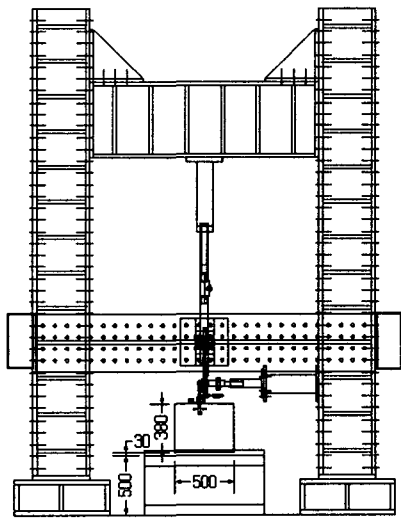


그림 7 실험장치 구성도

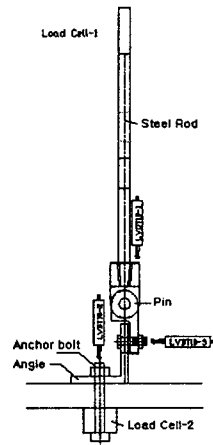


그림 8 실험체 셋팅 및 계측

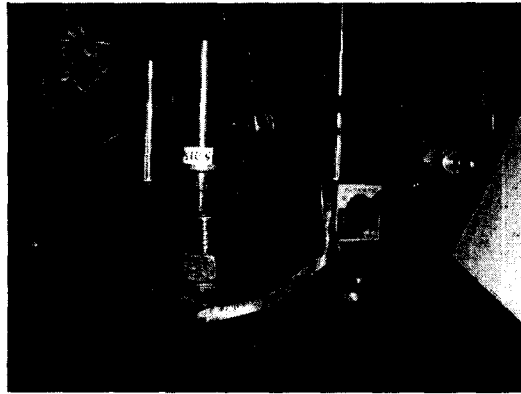


그림 9 Prying Action 실험 상황

4.2 실험결과

실험은 대덕연구단지 소재 전력연구원 구조시험동에서 수행하였다. 실험결과의 중요 수치데이터는 확장형 앵커볼트의 Pullout 강도를 기준으로 하여 하중증폭계수(λ_{exp}) 및 실험변수별 Prying 영향 평가를 하였다. 기존 연구의 탄성해석결과와 실험결과 비교표는 표 4에 나타나 있다.

표 4 하중증폭계수(λ) 계산치-해석치 비교표

Section Name	Bolt Diameter	a	b	하중증폭계수 계산치 $\lambda_{cal}=(a+b)/a$	하중증폭계수 탄성해석 λ_{fem}	실험치 λ_{exp}
4" x 4" x 1/4" (100x100x7)	3/8"	1.5"	2.5"	2.67	2.54	2.99
	5/8"			2.67	2.56	2.32
	3/4"			2.67	2.57	2.36
4" x 4" x 1/2" (100x100x10)	3/8"	1.5"	2.5"	2.67	2.61	2.80
	5/8"			2.67	2.64	2.62
	3/4"			2.67	2.65	2.76
4" x 4" x 3/4" (100x100x13)	3/8"	1.5"	2.5"	2.67	2.62	3.37
	5/8"			2.67	2.65	2.53
	3/4"			2.67	2.66	2.51

1) 앵커볼트의 축강성(K)에 의한 하중증폭계수

그림 10 에 앵커볼트의 축강성(볼트의 직경)에 따른 실험결과를 나타내었다. 그림에서 볼수 있듯이 탄성해석에서의 결과와는 다르게 축강성이 커질수록 앵커볼트에 걸리는 하중증폭계수는 작아지는 것으로 나타났다. 이는 하중이 가해질수록 앵글이 변형이 시작되면서 앵커볼의 축강성

이 크면 앵커볼트에 가까운 거리에서 지점이 형성되어 초기에는 a거리가 작았다가 변형이 더욱 진전되면서 지점이 멀어지기 때문 인 것으로 분석되었다.

2) Angle의 횡지지강성(K_2)에 의한 하중증폭계수

Angle에 작용하는 제어기기의 수평방향 고정도를 나타내는 횡지지강성의 영향을 알아보기 위하여 기준강성을 $1.0 K_2$ 로 하였으나 실험에 적용된 실제 강성은 $0.5 K_2$, $2.5 K_2$, $5.0 K_2$ 로 하여 비교실험을 하였다. $1.0 K_2$ 는 0.345kips/inch 의 수평방향 하중-변위강성으로 하였다.

실험의 결과는 그림 11에 나타내었다. 실험결과 횡지지강성에 의한 하중증폭계수는 $2.5 K_2$ 에서 다소 높게 나타났으며 횡지지강성(K_2)가 커질수록 하중증폭계수가 작아지는 경향을 알 수 있다.

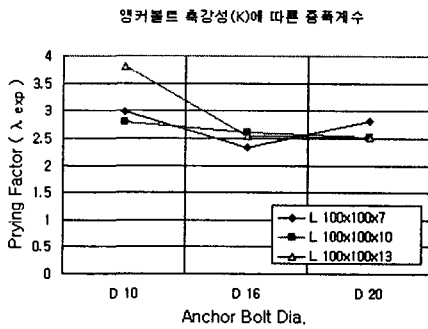


그림 10 앵커볼트의 축강성에 따른 하중증폭계수

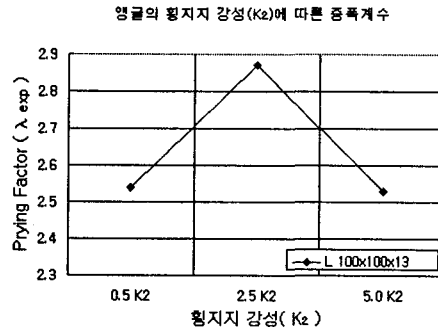


그림 11 횡지지강성(K_2)에 의한 하중증폭계수

3) 앵글규격(휨강성)에 의한 하중증폭계수

그림 12 에 앵글규격(휨강성)에 따른 하중증폭계수를 나타내었다. 전체적인 실험결과는 탄성해석 결과와는 다르게 앵글의 두께(t)가 커질수록 하중증폭계수는 다소 감소하는 경향을 볼 수 있다. 그러나 앵글의 강성이 크고 앵커볼트의 강성이 작은 경우인 L 100x100x13 과 D 10 앵커볼트 실험체의 경우 하중증폭효과가 커지는 것으로 분석되었다.

4) a, b 거리에 의한 하중증폭계수

그림 13 에 a, b(e)의 거리에 따른 하중증폭계수를 나타내었다. a의 거리가 길어질수록 하중증폭계수는 작아지는 것으로 나타났다.

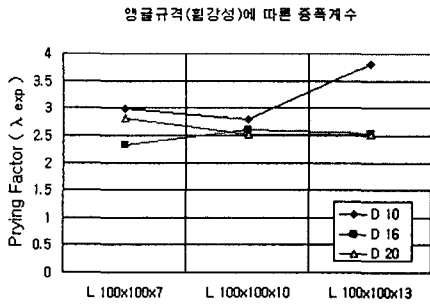


그림 12 앵글규격(휨강성)에 따른 하중증폭계수

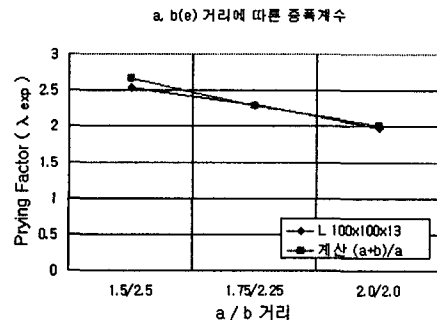


그림 13 a/b거리에 따른 하중증폭계수

5) 앵글의 길이(L)에 따른 하중증폭계수

그림 14에 앵글의 길이(L)변화에 따른 휨강성 증가시 하중증폭계수를 나타내었다. 이 실험결과 또한 앵글의 길이가 길어져 휨강성이 증가하여도 하중증폭계수는 작아짐을 알 수 있다.

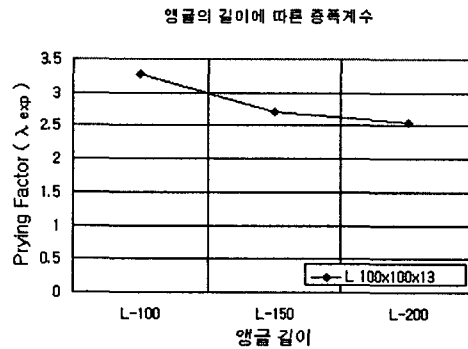


그림 14 앵글의 길이에 따른 하중증폭계수

5. 결론 및 추후 연구과제

Angle형 기초시스템의 경우 편심하중이 작용하기 쉬운 기초형태로 해석적연구로서 파악이 불가능한 부분을 실험적으로 규명하여 성능평가에 활용하려 하였다. 본 실험연구의 중간결과를 통하여 얻은 결론은 정착부의 Angle형 기초시스템의 하중의 증폭효과는 앵커볼의 축강성(K)와 앵글의 휨강성 및 횡지지강성(K_2)의 함수로 표현됨을 알 수 있었다.

본 실험연구를 통하여 추후 보완 및 발전시킬 연구과제는 다음과 같다.

- 횡지지 강성에 의한 하중증폭효과의 정밀분석을 위한 비선형 거동 분석
- 확장형 앵커볼트의 슬립거동에 따른 하중증폭계수 영향
- 해석조건(경계조건등)의 재검토 및 영향 검토
- 실험결과의 하중증폭계수 산정 기준 및 방법 체계화

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 지원금에 의한 것입니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. URS/John A. Blume & Associate, Engineers, "Recommended Approaches for Resolving Anchorage Outliers", EPRI, TR-103960, EPRI, 1994, 65pp.
2. 김진형, 최영규, " 지레작용을 고려한 T-스텝 접합부의 탄소성 거동에 관한 연구", '88추계학술 발표회논문집, 대한건축학회, pp.631-634.
3. 류종열, 김근덕, "Tee-스텝 접합부의 지레작용에 관한 연구" '88춘계학술발표회논문집, 대한건축학회, pp413-416.
4. 문태섭, 이명재, 오영석, 철골구조, 영운출판사, 서울, 1996, 369pp.