전단보강된 기초의 지반에서의 거동해석

Nonlinear Finite Element Analysis of Foundation with Shear Reinforcements on the Ground

이 원 호* • 이 용 재** • 황보 석*** • 양 원 직**** • 허 갑 수***** • 진 성 찬******

Yi, Waon-Ho • Lee, Yong-Jae • Hwangbo, Seok • Yang, Won-Jik • Heo, Kab-Soo • Jin, Seong-Chan

요 약

최근 건설공사에서 많은 물량이 투입되는 기초구조의 자재비 및 원가절감을 위해 여러 가지 기초구조시스템이 개발되고 있으나, 보편적으로 현장에 적용하기에는 다소 무리가 있는 것으로 지적받고 있다. 본 연구는 강판을 ㄷ자형으로 절곡한 기초전단보강시스템을 개발하기 위한 해석적 연구의 일환으로 진행되었다. 현행 전단머리 보강식에서는 기초판에 대한 전단내력 산정을 위한 기준식이 마련되어 있지 않으며 플랫플레이트 슬래브의 기준식에 따르도록 되어져있다. 그러나 기초판은 지반에 지지되는 구조물로 플랫플레이트 슬래브와는 경계조건이 다르다. 따라서 본 연구에서는 지반에 지지된 경우와 플랫플레이트 슬래브와 같이 모멘트 제로지점을 단순지지한 형태로 기초구조물을 모델링하여 해석을 실시하였다. 해석프로그램은 유한요소기법이 적용된 ABAQUS를 사용하여 두 지지조건의 차이가 구조물에 미치는 영향을 비교분석하였다.

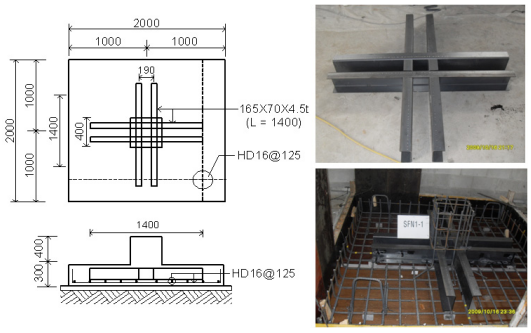
keywords : 기초구조시스템, 전단보강, 해석모델, 지반, ABAQUS

1. 서 론

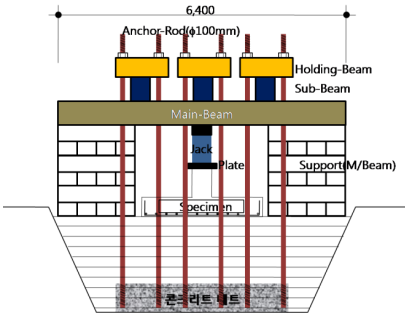
건축구조물의 구조부재 중에서 가장 많은 물량이 투입되는 기초구조에 대해 최근 원가 절감형 공법 개발 등 관심이 집중되고 있으며, 이와 같은 현실을 반영하여 자재비 절감을 위한 기초구조시스템이 개발되고 있으나 규모가 크거나 제작이 복잡하여 보편적으로 현장에 적용하기에는 다소 무리가 있는 것으로 지적받고 있다. 본 연구에서 사용한 전단보강체는 강판을 ㄷ자형으로 절곡하여 제작이 단순하고, 현장에서 기초판의 하단근 배근 후 보강체를 위에 얹는 방식으로 시공성도 뛰어난 형상으로 개발되어졌다. 보강체의 상세 및 실험시 사용한 현장 가력시스템을 그림 1.1에 나타내었다.

본 연구에서는 이상과 같은 전단보강체로 보강된 기초판에 대해 지반에 지지된 경우와 슬래브의 거동을 묘사한 모멘트 제로지점에 양단 핀 지지된 경우의 해석을 통하여, 두 지지조건에 따른 기초판의 거동차이를 비교분석하고자 한다. 해석을 위한 가정조건으로는 두 구조물은 완전히 동일한 조건으로 하였으며, 지반은 탄성으로 가정하여 수행하였다.

* 정회원 • 광운대학교 건축공학과 교수 whyi@kw.ac.kr
** 정회원 • 동양미래대학 건축공학과 교수 yjlee@orient.dytc.ac.kr
*** 정회원 • (주)ES건축구조엔지니어링 대표이사 esnp@chol.com
**** 광운대학교 ESnS구조연구센터 연구교수 yangwj@nate.com
***** 극동건설(주) 기술연구소 소장 hkabsoo@kukdong.co.kr
****** 정회원 • (주)ES건축구조엔지니어링 대리 esnp@chol.com



(a) 실험체 및 기초전단보강체



(b) 실험체 가력장치

그림 1.1 ㄷ형강을 사용한 기초전단보강 및 가력시험

2.해석대상 실험체

표 2.1 지반유무에 따른 해석수행 실험체 일람

	실험체명	전단 보강	지반 유무	기초판두께 (mm)	휨철근	최대전단내력(V^{calc}) (kN)
(A)	SFN-N	○	×	300	HD16@125	1,776
(B)	SFN-S	○	○	300	HD16@125	1,776

본 연구에서 지반의 유무에 따른 비교해석을 수행한 실험체는 표2.1과 같으며, 설계기준에 근거한 최대전단내력을 함께 나타내었다. 전단보강된 실험체 SFN-N의 전단내력 V^{calc}는 건축구조기준(KBC2009) 0507.12.4에서 정의하는 전단머리보강시 보강가능한 최대제한하중(식(1))으로 산정하였다. 식(1)은 슬래브의 전단보강시의 전단강도이므로 지반의 영향이 고려되지 않는다. 따라서 설계기준상으로는 지반의 유무로 인한 최대전단내력의 차이는 없다.

전단머리보강시 최대제한하중: $V^{calc} = 0.59\sqrt{f_{ck}}\, b_0 d$ (1)

$$b_0 = 4(c+d) = 4(400+240) = 2{,}560mm$$

$$V^{calc} = 0.59\sqrt{f_{ck}}\, b_0 d = 0.59\sqrt{24} \times 2{,}560 \times 240 = 1{,}776\,kN$$

여기서, b_0 = 위험단면 둘레길이

(A) SFN-N (B) SFN-S

그림 2.1 가력모델

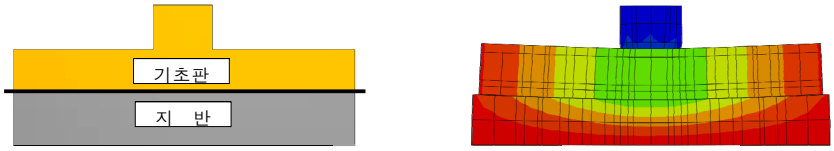
3. 구조해석 및 해석결과

3.1 재료모델

표 3.1 구조해석 재료모델 물성치정의

	E (MPa)	ν	f_{ck} (MPa)	f_{ct} (MPa)	F_y (MPa)	F_u (MPa)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
콘크리트	26,986	0.167	24	2.4	-	-
철 근	205,000	0.300	-	-	400	400
강 재	205,000	0.300	-	-	235	235
지 반	25	0.300	-	-	-	-

(1)탄성계수, (2)포아송비, (3)콘크리트압축강도, (4)콘크리트인장강도, (5)항복강도. (6)인장강도



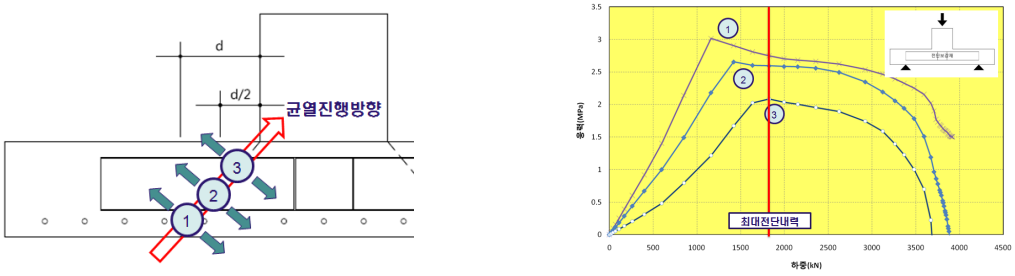
(a) 지반 모델 (b) 가력형상

그림 3.1 지반 모델(SFN-S) 형상

본 연구에서는 비선형 해석능력을 가지고 있는 범용 유한요소해석 프로그램인 아바쿠스(ABAQUS/CAE 6.5-1)를 사용한 탄소성 해석을 수행하였다. 지반을 제외한 모든 재료의 물성치는 재료비선형거동까지 정의하였으며, 지반은 완전탄성체로 정의하였다. 지반의 탄성계수는 지반의 평판재하시험을 통해 산정하였다.(표 3.1) 그림3.1과 같이 기초판과 지반의 경계면은 기초판의 압축력만을 전달하도록(Compression-Only) 정의하였다. 이질재인 강재(전단보강체. 철근)와 콘크리트(기초판)는 완전합성 거동하는 것으로 정의하였다.

3.2 최대전단내력의 산정

해석결과에서는 뚫림전단파괴와 같은 급격한 취성적인 거동이 나타나지 않는다. 또한 전단파괴이후에도 계속해서 철근 및 강재에 의한 휨저항을 하므로 전단파괴하중을 찾는 것은 쉽지 않다. 따라서 해석결과의 최대전단내력을 결정하기 위해서 그림 3.2와 같이 위험단면의 하중-주응력도를 확인하였다. 콘크리트의 균열은 주응력(인장응력)이 최대인 면에서 발생하게 되며, 균열발생 이후에는 더 이상 인장응력을 받지 못한다. 따라서 이러한 콘크리트의 균열이 기초판 하부에서 상부까지 도달한 하중을 최대전단내력으로 판단하였다. 해석결과, SFN-N의 최대전단내력은 1,823kN로, SFN-S는 3,249kN으로 나타났다.



(a) 위험단면 주응력도 측정위치 (b) 측정위치별 주응력도(Y)-하중(X) 관계(SFN-N)

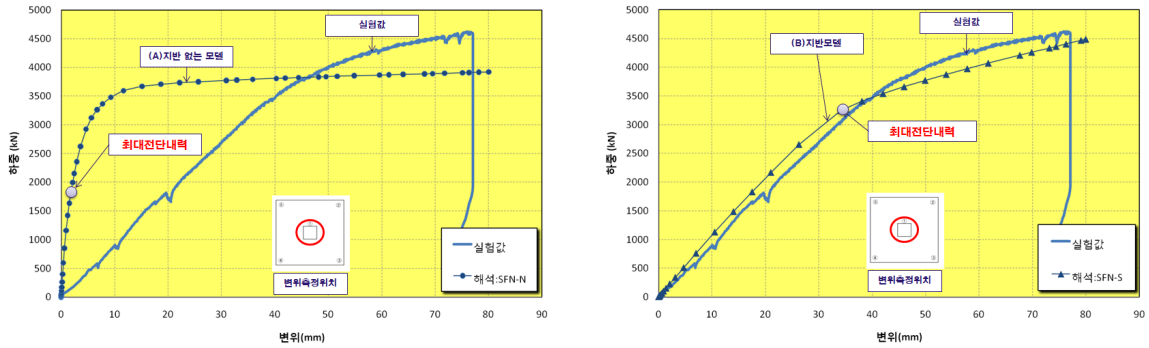
그림 3.2 해석결과 최대전단내력 산정

3.3 지반유무에 따른 해석결과 비교

표 3.2 해석결과 비교

	실험체명	전단 보강	지반 유무	V^{calc} (1)(kN)	V^{anal} (2)(kN)	$\frac{V^{anal}}{V^{calc}}$
(A)	SFN-N	○	×	1,776	1,823	1.03
(B)	SFN-S	○	○	1,776	3,249	1.83

(1)기준식에 의한 전단내력, (2)해석에 의한 전단내력



(A) SFN-N (B) SFN-S

그림 3.3 해석결과 하중-기둥변위 관계

그림3.3(A)에서와 같이 SFN-N은 가력초기의 강성이 비교적 크게 나타났다. 최대전단내력은 1,823kN으로 기준식에 의한 전단내력(V^{calc})인 1,776kN의 약 103%로 유사하게 나타났다. 최대전단내력 도달이후에도 계속해서 하중을 받고 있는 것은 철근과 전단보강체가 계속해서 휨저항을 하고 있는 것으로 판단된다. 그림 3.3(B)의 SFN-S는 가력초기에 지반침하에 의한 거동이 나타나고 있어 비교적 강성이 작게 나타나며, 전반적인 거동양상이 실험결과와 유사하게 나타나고 있다. 최대전단내력은 3,249kN으로 기준식에 의한 전단내력의 약 183%로 나타났다.

4. 결론

동일한 조건의 기초구조물을 지반에 지지된 형태와 지반 없이 모멘트 제로지점을 단순지지시킨 형태의 두 가지 모델로 해석을 실시하여 두 지지조건의 차이가 구조물에 미치는 영향을 비교분석하였다.

현행 전단머리 보강식에서는 기초판에 대한 전단내력 산정을 위한 기준식이 마련되어 있지 않으며 슬래브의 전단보강 기준식에 따르도록 되어있으나, 해석결과에 의하면 지반이 있는 경우의 전단내력은 기준식에 의한 값의 1.83배로 나타났다. 따라서 기초판의 전단보강시에는 슬래브가 아닌 기초에 적합한 식을 사용하는 것이 적절할 것으로 사료된다.

참고문헌

G. Corley, M. Hawkins (1968) Shearhead Reinforcement for Slabs, *ACI JOURNAL*, pp.811~pp824

양원직, 오상훈, 이원호 (2009) 중공 PC기둥을 사용한 플랫 플레이트 슬래브-기둥 접합부의 전단보강, 대한건축학회 구조계 논문집

대한건축학회 (2009) 건축구조기준