Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 20, No. 11 pp. 479-486, 2019

https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.11.479
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

캡스기초공법의 하중경감효과에 관한 모형시험

박종만[1], 강치광[1], 곽정민[2], 한상호[3*]
[1]한국항공우주연구원, [2](주)캡스지오텍, [3]순천대학교 토목공학과

The Model Test on Load Reduction Effect of Caps Foundation Method

Jong-Man Park[1], Chi-Gwang Kang[1], Jung-Min Kwak[2], Sang-Ho Han[3*]
[1]Korea Aerospace Research Institute
[2]Caps Geotech
[3]Department of Civil Engineering, Sunchon National University

요 약 캡스기초공법은 조립골재층의 아칭효과를 이용하여 건물의 하중을 경감시키는 기초공법이지만, 아직까지 이에 대한 검증은 부족한 실정이다. 본 논문에서는 캡스기초공법 적용에 따른 하중의 경감효과를 정량적으로 입증하기 위해 캡스기초블록을 이용한 실내모형시험을 수행하였다. 실내모형시험은 캡스기초블록의 크기와 하중 재하판의 면적에 따라 모두 6가지 조건으로 실시하였으며, 모형 토조 내 3곳에서 재하 하중의 크기에 따른 토압의 변화를 관찰하였다. 시험 결과 캡스기초블록의 크기와 하중 재하판의 면적에 관계없이 하중 재하 지점과 가장 가까운 위치에서 토압이 가장 크게 나타났으며, 하중 재하 위치에서 멀어질수록 토압은 작게 나타났다. 토압이 가장 크게 나타난 위치에서 재하판의 면적이 30 ㎝ × 30 ㎝ 일 때 축소블록에 의한 토압은 블록이 없는 경우의 토압에 비해 평균 35.4 %, 표준블록은 평균 39.7 % 경감되었다. 또한, 재하판의 면적이 60 ㎝×60 ㎝ 일 때 축소블록의 토압은 블록이 없는 경우의 토압에 비해 평균 33.9 %, 표준블록은 평균 42.7 % 경감되었다. 따라서 조립골재의 아칭효과를 이용한 캡스기초공법을 적용한다면 축소블록의 경우 33 %, 표준블록의 경우 39 % 이상 하중경감효과가 있을 것으로 판단된다.

Abstract The caps foundation method can reduce the load of a building by using the arching effect, but verification of the method is still insufficient. In this paper, a model test was performed to quantitatively prove the load reduction effect by this method. The test was carried out using six conditions according to the size of caps foundation block and the area of the loading plate. The test results show that the earth pressure was the highest at the position closest to the loading point regardless of the size of caps foundation block and the area of the loading plate. At the highest earth pressure position, when the loading plate area was 30 ㎝ × 30 ㎝, the earth pressure of a small block was reduced by 35.4% on average, and that of a big block was reduced by 39.7% compared to the pressure with no block. When the loading plate area was 60 ㎝ × 60 ㎝, the earth pressure of the small block was reduced by 33.9% on average, and the earth pressure of the big block was reduced by 42.7%. Therefore, if the caps foundation method is applied, the load will be reduced by more than 33% for a small block and 39% for a big block.

Keywords : Caps Foundation Method, Arching Effect, Load Reduction, Earth Pressure, Model Test

본 논문은 2018년 전라남도와 전남테크노파크의 지역수요맞춤형연구개발사업의 지원을 받아 수행되었음.
*Corresponding Author : Sang-ho Han(Sunchon National Univ.)
email: hsh001@scnu.ac.kr
Received August 23, 2019 Revised September 18, 2019
Accepted November 1, 2019 Published November 30, 2019

1. 서론

도시가 발달하고 인구가 증가하면서 한정된 토지에 효율성을 높이기 위해 건물의 높이와 하중이 점점 커져가고 있다. 그러나 활용 가능한 토지는 점점 줄어들고 그마저도 견고한 지반이라는 보장이 없어서 연약한 지반에도 안전한 건물을 세우기 위한 건물의 기초공법이 나날이 발전하고 있다. 대표적인 건물의 기초공법은 말뚝기초공법으로 견고한 지반까지 말뚝을 연장하여 지지력을 전달하는 공법이다[1,2]. 그러나 이 공법은 시공 시 소음 및 진동으로 인한 민원발생의 요인이 크며, 견고한 지반의 심도가 깊을수록 경제적 부담이 커지는 단점이 있다.

최근에는 기초공법에 소요되는 재료의 양을 줄이면서 동시에 지지력을 높일 수 있는 대체공법의 필요성이 끊임없이 요구되어 왔고, 그 결과 말뚝기초공법을 대체할 수 있는 팽이기초공법과 허니셀공법이 개발되어 사용되고 있다.

팽이기초공법은 일본에서 널리 실용화되었으며 원리는 Fig. 1과 같이 팽이형 말뚝의 원추부에 채움 골재를 압축하여 구속함으로써 일체거동을 하는 강성매트 기능의 기초공법이다[3,4].

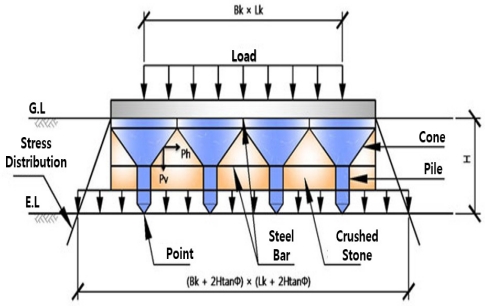


Fig. 1. Overview diagram of Top-Base foundation method

국내에서도 1991년 도입되어 최근까지 다양한 현장에 사용되고 있으나 현재까지 국내의 지반특성에 따른 팽이기초의 공학적 원리에 관한 연구가 부족한 실정이다[5].

허니셀공법은 국내에서 개발된 기초공법으로 Fig. 2와 같이 기초하부에 허니셀이라는 벌집모양의 중공블록을 설치하고 그 내부를 골재로 채움으로서 콘크리트 벽체와 내부 골재의 강성차이에 의해 아칭이 발생된다. 따라서 허니셀 하부는 구속응력상태가 되어 아칭하부로 전달되는 응력은 감소되는 효과를 얻을 수 있다[6].

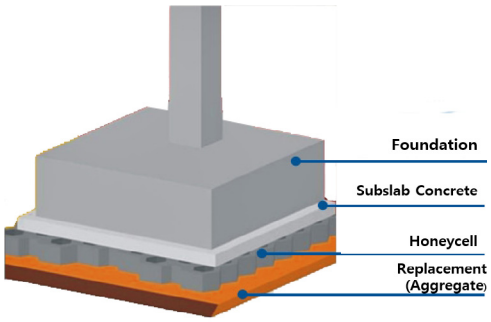


Fig. 2. Overview diagram of Honeycell foundation method

그러나 허니셀공법은 상하부가 개방된 중공부에 골재가 채워진 상태로 시공되기 때문에 중공블록 뿐만 아니라 중공부에 채워진 골재에도 상부하중이 전달되므로 중공에 의해 발생되는 골재층의 아칭현상과 하중경감효과가 확실하지 않다고 판단된다.

위와 같은 문제점을 해결하고 상부의 하중을 안정적이고 효과적으로 하부지반에 전달할 수 있는 Fig. 3과 같은 캡스기초공법이 개발되었다[7]. 캡스기초공법은 조립골재층 입자의 맞물림 작용으로 발생한 아칭현상에 의해 건물의 하중을 경감시키는 기초공법이지만, 아직까지 이에 대해 정량적인 검증은 부족한 실정이다[7].

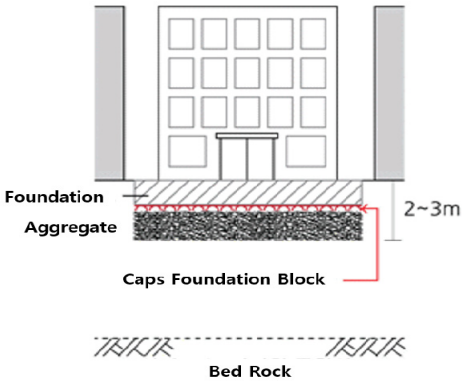


Fig. 3. Overview diagram of Caps foundation method

따라서 본 연구에서는 캡스기초공법 적용에 따른 하중의 경감효과를 정량적으로 입증하기 위하여 캡스기초블록의 크기와 재하판의 면적을 변수로 실내모형시험을 수행하였다.

2. 캡스기초공법

2.1 하중경감의 메커니즘

캡스기초공법은 건물의 하중이 캡스기초블록에 작용하면 조립골재층에서 아칭이 발생되며, 이와 같은 아칭현상에 의해 상부의 하중이 경감되는 기초공법이다[7].

Fig. 4와 같이 건물 전체 하중이 F일 때 캡스기초블록의 각 단면에는 f의 힘이 작용하게 되고 하중 f는 아칭원호를 따라 수평분력 fh1, fh2와 수직분력 fv1, fv2로 나뉜다. 여기서 수평분력은 크기가 같고 방향이 반대가 되어 상쇄되므로 상부의 건물하중을 경감시킨다. 또한 캡스기초블록의 비어있는 모자형 내부 공간은 아칭 발생을 원활하게 하고 지하수위 하부에 위치한다면 부력이 발생하여 구조물 기초의 경량화가 유도된다.

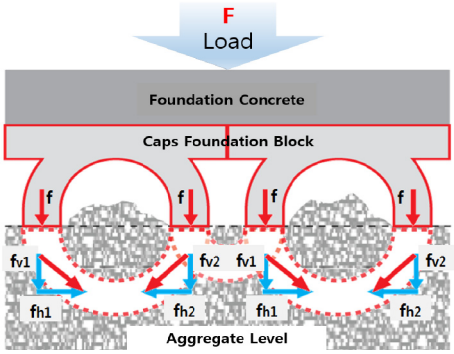
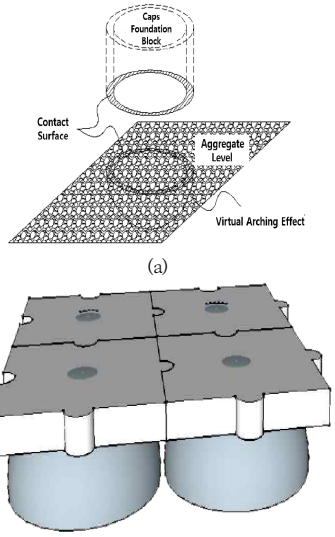


Fig. 4. Load reduction mechanism of Caps foundation method

2.2 캡스기초블록의 형상

캡스기초블록의 형상은 Fig. 5와 같이 하부는 조립골재층에서 아칭현상이 발생되도록 원형이고, 상부는 기초콘크리트와 일체화되고 기초에 타설되는 콘크리트가 블록의 하부로 흘러 들어가는 것을 방지하기 위하여 조립식 사각형이다.

또한, 캡스기초블록의 크기는 Fig. 6과 같이 제품 대량생산이 가능하고 건설현장에서 효율적인 시공을 위하여 상판의 크기 30 ㎝×30 ㎝를 표준블록으로 정하였고 캡스기초블록의 크기에 따라 하중경감효과를 비교해보기 위하여 상판의 크기가 15 ㎝×15 ㎝인 축소블록도 제작하였다.



(a)

(b)

Fig. 5. Shape of the Caps foundation block
(a) Bottom shape (b) 3-dimensional shape

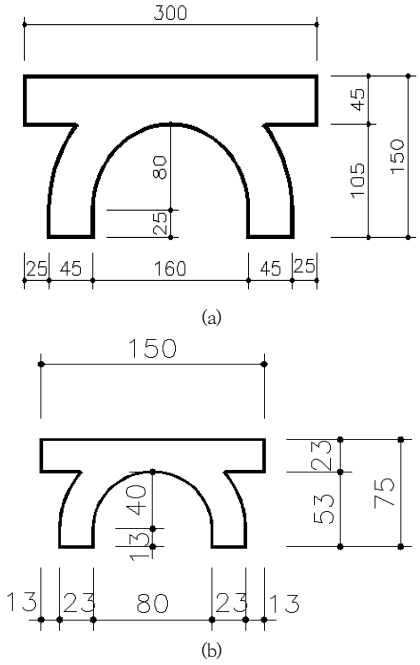


Fig. 6. Size of the Caps foundation block
(a) Standard Caps Block (b) Downsized Caps Block

3. 실내모형시험

3.1 시험장치의 구성

캡스기초블록과 조립골재층의 아칭현상에 의해 하중이 경감되는 것을 정량적으로 입증하기 위하여 실내모형시험을 실시하였다. 시험에 사용하는 실시험장치의 구성은 Fig. 7과 같으며 하중을 10 tf까지 재하할 수 있는 스크루형 하중발생장치가 설치되어 있다. 토조는 모형 지반을 조성할 수 있는 1000 ㎜×1000 ㎜×1000 ㎜ 크기로 제작하였고 토층의 구성과 변화를 육안으로 직접 확인할 수 있도록 한 면은 두께 20 ㎜의 아크릴면으로, 나머지 세 면은 두께 5 ㎜ 철판으로 구성하였다. 또한, 로드셀 및 데이터로거와 컴퓨터시스템을 이용하여 하중의 크기와 토압을 동시에 계측하고 데이터를 저장할 수 있도록 하였다.

Fig. 8은 실내모형시험장치의 제원을 나타낸 것으로 비교적 큰 캡스기초블록도 시험이 가능하도록 설계하였다.

실내모형시험을 위해 먼저 토조에 건물의 하부 지반을 조성하였다. 하부지반은 밑바닥부터 70 ㎝까지 모래를 조밀하게 다지면서 성토하고, 그 위에 조립골재층을 포설하였다. 그리고 캡스기초블록을 조립골재층 위에 놓고 그 위에 재하판을 설치하고 재하판의 중심부에 하중을 재하함으로서 조립골재층에서 아칭현상이 일어나도록 하였다.

골재의 포설두께는 재하판의 면적이 30 ㎝×30 ㎝일 때는 30 ㎝로 하였고 재하판의 면적이 60 ㎝×60 ㎝일 때는 토압과 토조 측벽의 간섭을 피하기 위하여 분산각을 45°로 가정하여 20 ㎝로 하였다.

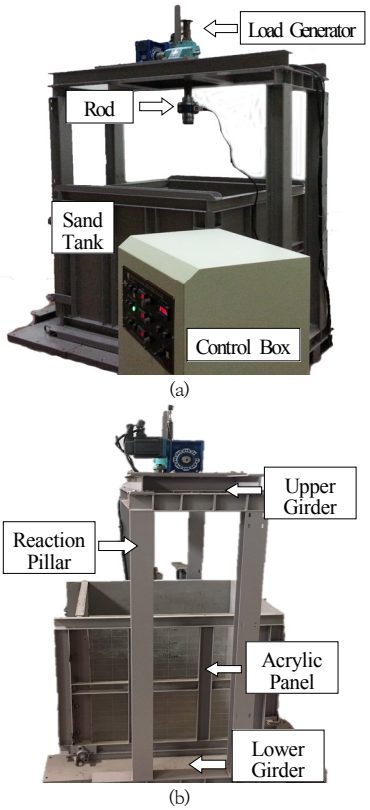


Fig. 7. Model test equipment
(a) Front view (b) Side view

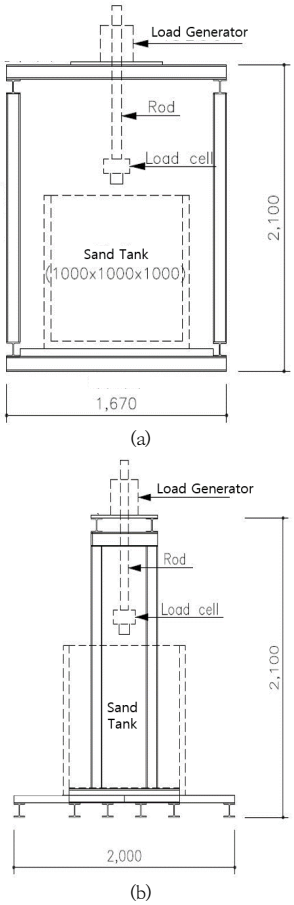


Fig. 8. Schematic of model test equipment
(a) Front view (b) Side view

Table 1. Conditions of model test

Name of model test		NB-30	SB-30	BB-30	NB-60	SB-60	BB-60
Area of load-bearing plate(㎝)		30×30			60×60		
Size of Caps Block(㎝)		No Block	15×15	30×30	No Block	15×15	30×30
Thickness of sand layer(㎝)		100	70	70	90	70	70
Thickness of aggregate layer(㎝)		-	30	30	-	20	20
Average particle size of aggregate(㎜)		-	18	18	-	18	18
Depth of earth pressure gauge from the bottom of the block(㎝)	ch.2	50	50	50	40	40	40
	ch.3	70	70	70	60	60	60
	ch.4	90	90	90	80	80	80

3.2 시험 조건

실내모형시험은 캡스기초블록을 적용하지 않은 원지반과의 하중경감효과를 비교하기 위하여 블록이 없는 원지반을 포함한 블록의 크기 3가지, 재하판의 면적 2가지를 변수로 하여 Table 1과 같이 모두 6가지 조건으로 실시하였다. 각 시험의 명칭은 캡스기초블록의 크기와 하중재하판의 면적에 따라 분류하였다. 모래지반 위에 바로 재하판을 놓아 블록이 없는 경우를 NB(No Block), 조립골재층 위에 축소블록을 놓는 경우를 SB(Small Block), 조립골재층 위에 표준블록을 놓는 경우를 BB(Big Block)로 분류하였다. 다음으로 재하판의 면적이 30 ㎝×30 ㎝인 경우 30, 60 ㎝×60 ㎝인 경우 60으로 분류하였다.

3.3 시험 결과 및 고찰

캡스기초공법에 의한 하중경감효과를 확인하기 위하여 재하 하중의 크기와 토조 내 3곳에서의 토압을 관찰하였다.

Fig. 9는 재하판의 면적이 30 ㎝×30 ㎝ 일 때 세 가지 블록의 크기에 따른 하중재하 모식도와 시험 결과에 의한 하중-토압곡선을 나타낸 것이다. 토조 내 토압계의 위치에 관계없이 NB-30의 경우 재하하중이 약 380 kPa, SB-30의 경우 약 520 kPa, BB-30의 경우 약 630 kPa까지 하중의 증가에 따라 토압이 거의 직선적으로 상승하였으며 하중이 그 이상이면 토압은 급격하게 상승하는 것을 알 수 있었다.

Fig. 10은 재하판의 면적이 60 ㎝×60 ㎝ 일 때 세 가지 블록의 크기에 따른 하중재하 모식도와 시험 결과에 의한 하중-토압곡선을 나타낸 것이다. 토조 내 토압계의 위치에 관계없이 NB-60의 경우 재하하중이 약 70 kPa, SB-60의 경우 약 90 kPa, BB-60의 경우 약 150 kPa까

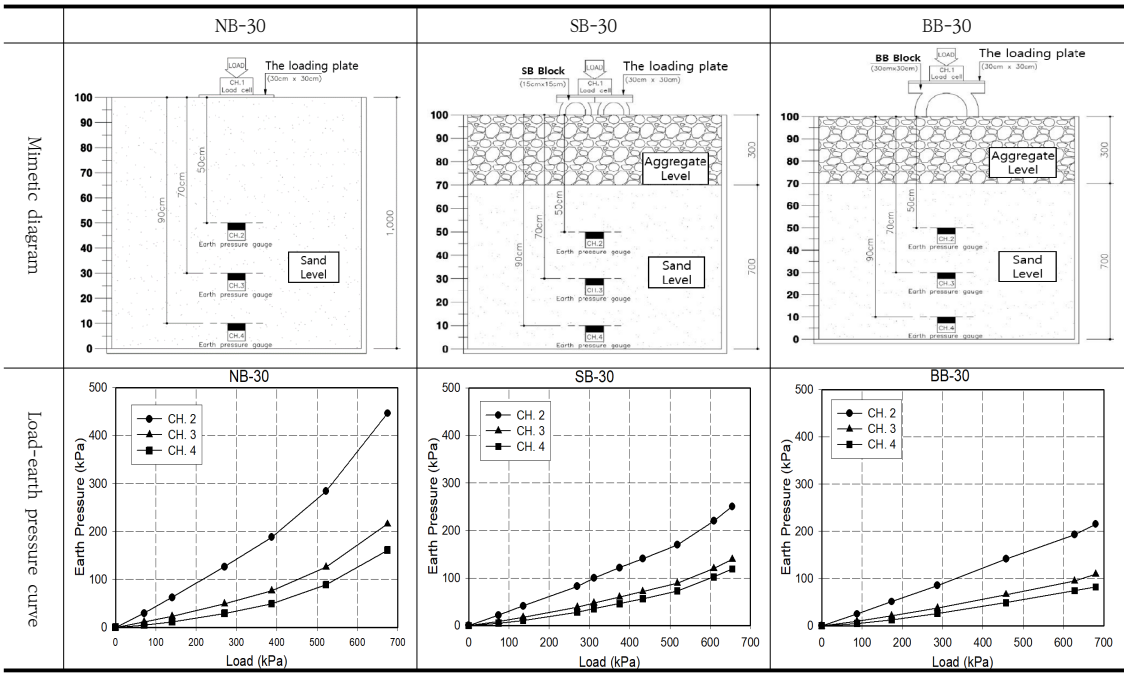


Fig. 9. Mimetic diagram and load-earth pressure curve (load-bearing plate 30 ㎝×30 ㎝)

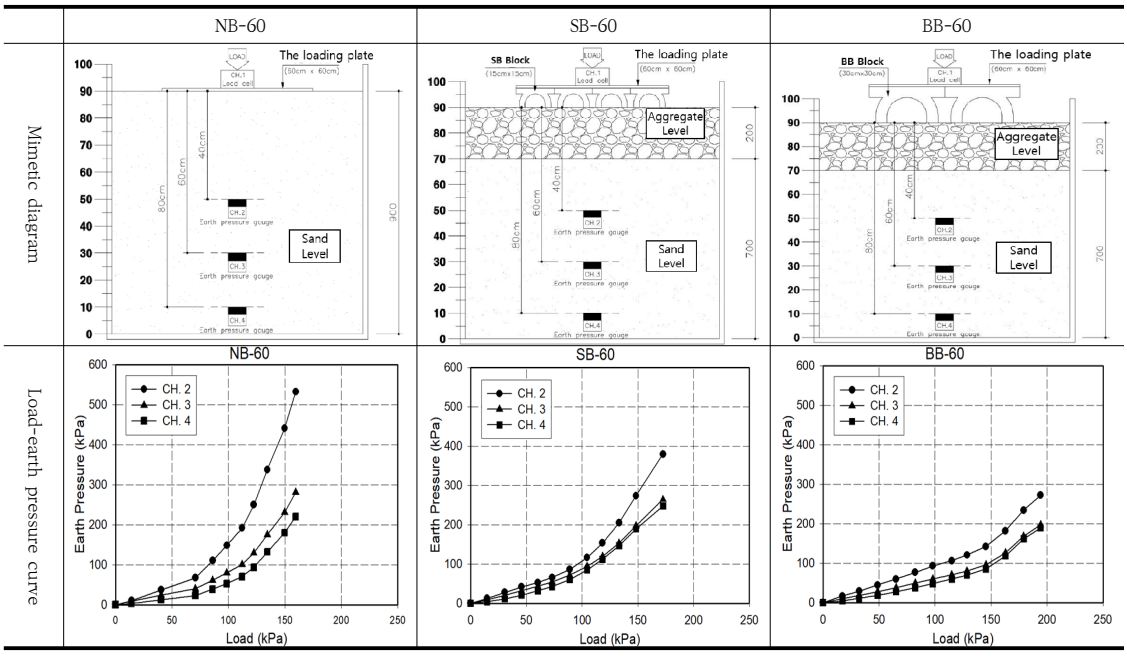


Fig. 10. Mimetic diagram and load-earth pressure curve (load-bearing plate 60 ㎝×60 ㎝)

지 하중의 증가에 따라 토압이 거의 직선적으로 상승하였으며 재하 하중이 그 이상이면 토압은 급하게 상승하는 것을 알 수 있었다.

전체적으로 재하판 및 블록의 크기에 관계없이 하중 재하 지점과 가장 가까운 CH.2에서 토압이 가장 크게 나타났으며 하중 재하 위치에서 멀어질수록 작게 나타났다. 따라서, 하중재하에 따른 토압의 차이를 가장 명확하게 확인할 수 있는 CH.2의 위치에서 세 가지 블록의 크기에 따른 하중-토압관계를 정리해 보았다.

Fig. 11은 재하판의 면적이 30 ㎝×30 ㎝ 일 때, Fig. 12는 재하판의 면적이 60 ㎝×60 ㎝ 일 때 세 가지 블록의 크기에 따른 재하 하중과 CH.2에서의 토압을 나타낸 것이다.

그리고 Table 2와 Table 3은 Fig. 11과 Fig. 12를 근거로 하여 재하판의 면적이 각각 30 ㎝×30 ㎝, 60 ㎝×60 ㎝ 일 때 재하 하중의 크기에 따른 토압을 나타낸 것이다. 또한 비교를 위하여 블록이 없는 NB의 토압을 기준으로 축소블록(SB)과 표준블록(BB)에 대한 토압의 경감비율도 함께 나타냈다.

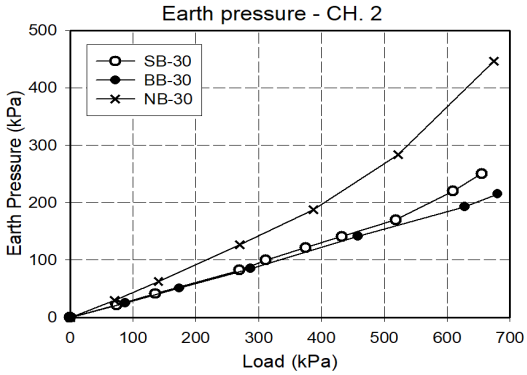


Fig. 11. Load-earth pressure curve for CH. 2 (30 ㎝×30 ㎝)

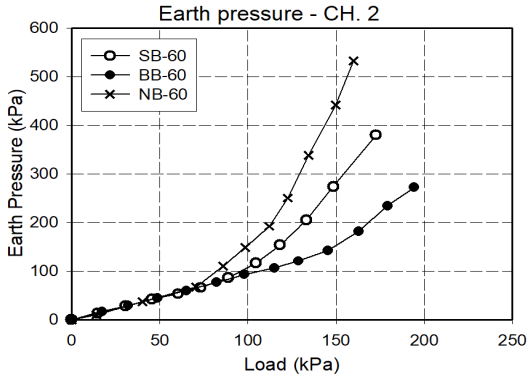


Fig. 12. Load-earth pressure curve for CH. 2 (60 ㎝×60 ㎝)

Table 2. Earth pressure and earth pressure reduction rate (load-bearing plate 30 ㎝×30 ㎝)\

Load (kPa)	CH. 2					
	Vertical earth pressure(kPa)			Earth pressure reduction rate (%)		
	NB-30	SB-30	BB-30	NB-30	SB-30	BB-30
0	0	0	0	-	0	0
100	45.34	30.83	29.85	-	32.0	34.2
200	92.77	60.83	59.85	-	34.4	35.5
300	142.16	95.70	88.87	-	32.7	37.5
400	196.43	130.58	120.82	-	33.5	38.5
500	268.14	163.50	153.74	-	39.0	42.7
600	365.93	215.82	182.9	-	41.0	50.0
Average	-	-	-	-	35.4	39.7

재하판의 면적이 30 ㎝×30 ㎝ 인 Table 2에서 축소블록(SB)은 블록이 없는(NB) 토압에 비해 평균 35.4 %, 표준블록(BB)은 평균 39.7 %의 토압이 경감되었다. 그리고 표준블록(BB)에 의한 토압의 경감이 축소블록(SB)에 비해 평균 4.3 % 크게 나타났다.

Table 3. Earth pressure and earth pressure reduction rate (load-bearing plate 60 ㎝×60 ㎝)

Load (kPa)	CH. 2					
	Vertical earth pressure(kPa)			Earth pressure reduction rate (%)		
	NB-60	SB-60	BB-60	NB-60	SB-60	BB-60
75	77.51	68.08	69.64	-	12.2	10.2
100	153.01	107.59	94.59	-	29.7	38.2
125	269.20	176.56	116.10	-	34.4	56.9
150	445.98	181.14	153.35	-	59.4	65.6
Average	-	-	-	-	33.9	42.7

재하판의 면적이 60 ㎝×60 ㎝ 인 Table 3에서 축소블록(SB)은 블록이 없는(NB) 토압에 비해 평균 33.9 %, 표준블록(BB)은 평균 42.7 %의 토압이 경감되었다. 그리고 표준블록(BB)에 의한 토압의 경감이 축소블록(SB)에 비해 평균 8.8 % 크게 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 캡스기초공법 적용에 따른 하중의 경감효과를 정량적으로 입증하기 위해 캡스기초블록의 크기와 재하판의 면적을 변수로 실내모형시험을 수행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 재하판의 면적이 30 ㎝×30 ㎝ 일 때 축소블록은 블록이 없는 토압에 비해 평균 35.4 %, 표준블록은 평균 39.7 %의 토압이 경감되었다.
2) 재하판의 면적이 60 ㎝×60 ㎝ 일 때 축소블록은 블록이 없는 토압에 비해 평균 33.9 %, 표준블록은 평균 42.7 %의 토압이 경감되었다.
3) 재하판의 면적에 관계없이 블록의 크기가 4배 큰 표준블록에 의한 토압의 경감은 축소블록에 의한 토압의 경감보다 평균 6.5 % 크게 나타났다.
4) 따라서, 캡스기초공법이 적용된 기초지반은 캡스기초공법이 적용되지 않은 지반에 비해 축소블록의 경우 33%, 표준블록의 경우 39 % 이상 하중경감효과가 발생되었다고 판단된다.

References

[1] C. W. Cho, "Future of Civil Engineering : Next Decade of Pile foundation in Korea", *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 55, No. 1(1), pp.74-83, 2007.

[2] S. W. Hong, Y. K. Choi, "A Study on the Load Bearing Characteristics Depending on Pile Construction Methods and Pile Load Test Methods Based on Case Analyses", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.28, No.4, pp.5-21, Apr. 2012.
DOI: https://doi.org/10.7843/kgs.2012.28.4.5

[3] E. C. Shin, M. H. Ahn, "Estimation of Bearing Capacity for In-Situ Top-Base Method by Field Experimental Plate Load Test", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol.10, No.1, pp.1-8, Mar. 2011.
DOI: https://doi.org/10.12814/jkgss.2011.10.1.001

[4] J. H. Chung, H. K. Chung, S. Lee, "Behavior of Floating Top-Base Foundation on Soft Soils by Laboratory Model Tests", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.27, No.2, pp.5-15, Feb. 2011.
DOI: https://doi.org/10.7843/kgs.2011.27.2.005

[5] J. H. Chung, H. K. Chung, S. Lee, "Behavior of Floating Base Plate by Stress Delivery Mechanism", *Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection*, Vol.14, No.2, pp.137-144, Mar. 2010.
DOI: https://doi.org/10.11112/jksmi.2010.14.2.137

[6] K. B. Kim, D. Y. Song, "Foundation Construction Method Using a Honeycell Hollow Blocks", *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 59, No. 12, pp.81-86, 2015.

[7] S. P. Nam, *A Study on the Development of Caps Foundation Method Using Arching Effect of Granular Aggregate*, Ph.D dissertation, Sunchon National University, Sunchon,

박 종 만(Jong-Man Park) [정회원]

- 2006년 2월 : 단국대학교 토목환경공학과 (토목환경공학학사)
- 2008년 7월 ~ 2012년 6월 : 동부건설(주) 토목공사팀 대리
- 2014년 7월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 선임기술원
- 2019년 2월 : 순천대학교 산업대학원 토목공학과 (토목공학석사)

〈관심분야〉
토목구조공학, 토목환경공학

강 치 광(Chi-Gwang Kang) [정회원]

- 1990년 2월 : 전북대학교 토목공학과 (토목공학학사)
- 1997년 7월 : 도로 및 공항 기술사
- 2001년 3월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 책임기술원

〈관심분야〉
도로 및 공항, 토목환경공학

곽 정 민(Jung-Min Kwak) [정회원]

- 1999년 3월 : 일본큐슈대학교 대학원 공학연구과 (지반공학 박사)
- 1999년 10월 ~ 2005년 9월 : 동아대학교 BK-21 연구교수, 동아대 건설기술연구소 전임연구원
- 2007년 4월 ~ 현재 : ㈜정밀지반, ㈜캡스지오텍 대표

〈관심분야〉
지반공학 (자동화 시스템), 건물기초 시스템블록

한 상 호(Sang-Ho Han) [정회원]

- 1999년 3월 : 큐슈대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 큐슈대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 순천대학교 토목공학과 교수
- 2007년 7월 ~ 2008년 12월 : 미국 UC-Davis 토목공학과 방문교수

〈관심분야〉
콘크리트 재료 및 제품