

비개착 구조물 압입 시 선단부 붕락 방지를 위한 전면가압판 개발 및 적용성 연구

**Development and application of pressure device in non-open cut method
for preventing ground collapse**김형규*[†] 황시원* 이유경* 박소현*Hyeong Gyu Kim^{*†}, Si Won Hwang^{*}, Yoo Kyung Lee^{*}, So Hyeon Park^{*}

Abstract With the increasing demand of housing site development in recent years, underpass interchange construction has widely been applied beneath the railway and highway without interfering with their function as a traffic facility. However, ground subsidence and ground collapse are often observed during the application of non-open cut method due to many factors such as insufficient soil investigations, lack of consideration of underground structures, and ground water leakage. To cater for these problems, this study includes the application of Front Jacking method that is another type of non-open cut method in which a pre-cast structure is inserted in the ground and excavation is carried out inside it. A pressure device was developed and applied in the field in order to avoid face collapse and to prevent subsidence underneath the traffic facilities. Finally, the feedback from field application was used to optimize the design of pressure device for ensuring better workability.

Keywords : Pressure device, Ground collapse prevention, Non-open cut method, Underpass construction

초 록 최근 신도시, 택지개발 증가로 철도 및 고속도로의 교통시설로서의 기능을 저해하지 않고 하부를 횡단하는 입체교차화 공사가 널리 적용되고 있지만 비개착 시공 중 토질조사 미비, 지중 매설물 누락, 지하수 유출 등으로 인한 지반함몰 및 붕락사고가 빈번히 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 외부에서 제작한 구조물을 압입 및 굴착하는 비개착 공법인 Front Jacking 공법을 선정, 시공시 선단부 굴착면의 붕락을 방지하고 운행선의 침하를 억제하는 전면 가압판을 개발하여 현장 적용한 후, 피드백을 통하여 시공성을 확보 할 수 있는 전면 가압판의 최적 설계안을 도출하였다.

주요어 : 전면가압판, 붕락방지, 비개착, 지하횡단

1. 서 론

도심지 교통시설의 고도화 요구에 따라 지상 및 지하에서의 입체교차가 빈번하게 추진되고 있으며, 지상 공간의 포화로 인해 지하 공간의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이에 상부 교통시설의 기능을 저해하지 않고 지중에 구조물을 축조하는 비개착 공법이 입체교차 공사에 적용되는 추세이나, 굴착 시 지하공동 등으로 인한 선단부 붕락으로 지반함몰이 발생하여 시민들에게 불안감을 야기하는 등 사회적 이슈로 부각되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 지하 횡단 굴착공법의 성능개선을 통한 지반함몰 최소화 굴착기술 개발의 일환으로 선단부 붕락을 방지하기 위해 유압장치를 사용한 전면가압판을 개발하여 그 적용성을 평가하였다.

[†] 교신저자: 특수건설 기업부설연구소 연구소장(maccan@hanmail.net)

* 특수건설 기업부설연구소

2. 본 론

2.1 현황 분석

분석 대상 공법은 비개착 공법 중 하나인 Front Jacking 공법으로, Pipe Roof를 1차 지보 역할로 시공 후 외부 제작한 구조물을 압입굴착 방식으로 밀어 넣는 공법이다. 구조물 압입 시 선단부 굴착면의 갑작스런 붕락을 방지하기 위한 전면 가압판은 공법 초기부터 적용되어 왔으나 그 형태가 Fig. 1-(a)와 같이 보강재 없이 두꺼운 강재만으로 이루어진 부재로 선단부 토압을 지지하기에 매우 비효율적인 구조였으며, 후판의 자중 및 체결부의 부재로 인해 시공성이 좋지 못한 단점이 있었다.



(a) Existing pressure device



(b) The first improved pressure device

Fig. 1 Pressure device

이러한 문제점을 해결하고자 Fig. 1-(b)와 같이 가압판을 EGI 토류판으로 제작하여 경량화 하고 시공성을 높인 형태로 1차 개선하여 구조물 압입공중이 진행중인 현장에 적용하였다. EGI토류판 소재의 전면가압판은 구조검토를 바탕으로 제작하였으며, 검토 결과 인장과 압축연에 대한 휨응력의 안전율 1.2, 전단응력에 대한 안전율 3.6으로 전면가압판 안전에 문제점이 없음을 확인하였으며 자중 또한 기존 가압판 대비 73.5% 저감되어 시공성이 크게 향상되었다.



(a) Installation view



(b) Hydraulic jack installation

Fig. 2 Application of the first improved pressure device

2.2 수치해석을 통한 개선안 도출

수치해석은 도심지 저토포구간 비개착 터널을 대상으로 부재의 두께 및 보강재 배치 형상을 다르게 하여 4가지 Case를 검토하였다. 적용 강재는 2mm, 3mm두께의 SM400 강종을 사용하였으며 보강재의 형상은 격자형과 방사형으로 배치, Shell요소로 모델링 하여 최적 단면을 도출하고자 하였다. 지반은 도심지 저토포 구간임을 가정하여 토포고 1m의 매립층으로 Solid요소를 사용하여 모델링 하였으며 Mohr-Coulomb 탄소성 모델을 적용하였다. 가장 불리한 조건으로 해석을 수행하기 위해 상재하중을 분담하는 Pipe Roof는 해석 시 배제하였으며 하중은 토압 및 상부 활하중(DB-24)을 적용하였다. Fig. 3에서는 t=2mm일 때의 격자형 가압판과 방사형 가압판의 발생응력을 도시하였다.

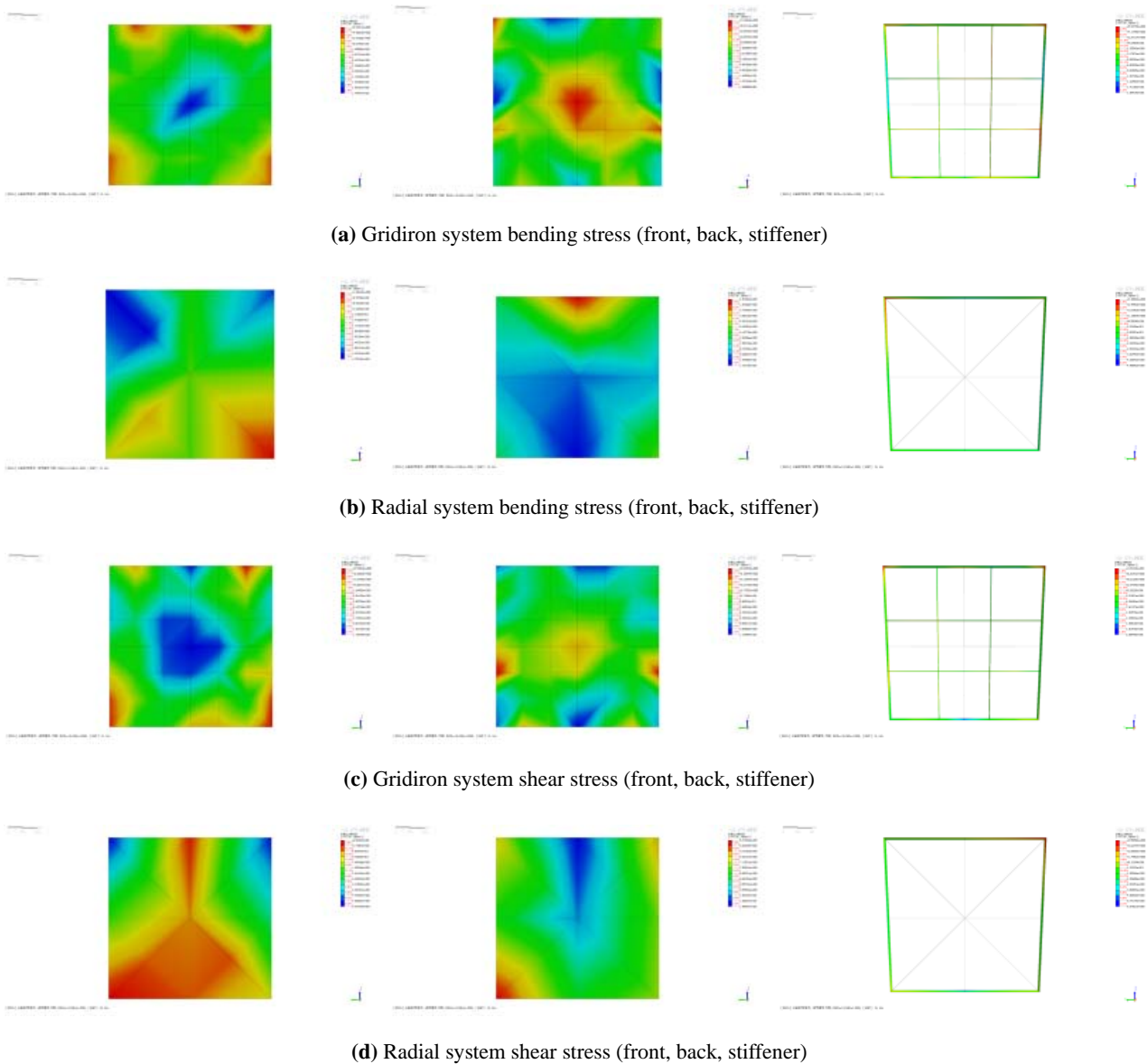


Fig. 3 Analysis results (t=2mm)

Fig. 3-(a)에서 격자형 가압판의 응력 분포도는 Plate의 중앙에 집중되어 있는 반면 Fig. 3-(b)에서 방사형 가압판의 응력 분포도는 전반적으로 고르게 분포되어 부재의 안정성에 유리한 구조로 판단되며, 이 같은 분포양상은 3mm가압판의 분포도에서 동일하게 나타났다.

Table 1 Results by thickness and stiffener arrangement shape

Arrangement shape	Weight (ω , kg)		Maximum stress (σ , MPa)	
	t=2mm	t=3mm	t=2mm	t=3mm
Gridiron system	180.44	270.67	20.84	11.25
Radial system	179.81	269.72	10.99	6.10

각 Case별 해석 결과를 Table 1에 나타내었으며 해석값을 아래의 그래프로 나타내었다. Fig. 4는 각각 굴착 시 가압판의 전판, 후판, 보강재에 발생하는 휨응력을 보여준다. 여기서 같은 두께의 강재를 사용할 경우 방사형 가압판의 자중이 격자형 가압판에 비해 중량이 미소하게 작은 반면 같은 하중에 대하여 발생하는 응력이 46~48% 저감되어 구조적으로 우수한 것으로 나타났다. 최대 발생 휨응력은 각각 2mm 격자형 가압판의 보강재에서 20.84MPa, 2mm 방사형 가압판의 후판에서 10.99MPa 로 모두 허용응력에 크게 미치지 못하는 수치이나, 보강재 용접 등의 작업성을 고려하였을 때 2mm 이하의 Plate사용은 불가할 것으로 판단된다.

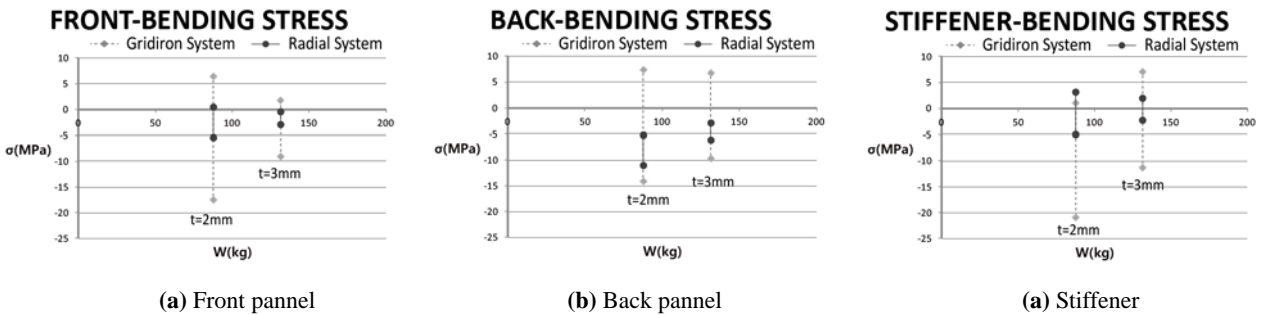


Fig. 4 Bending stress analysis graph

Fig. 5에서는 굴착 시 가압판의 전판, 후판, 보강재에 발생하는 전단응력을 보여준다. 여기서 최대 발생 전단응력은 각각 2mm 격자형 가압판의 보강재에서 15.94MPa, 2mm 방사형 가압판의 후판에서 11.32MPa 발생하였으며 그 발생 경향은 Fig. 4의 것과 유사하다.

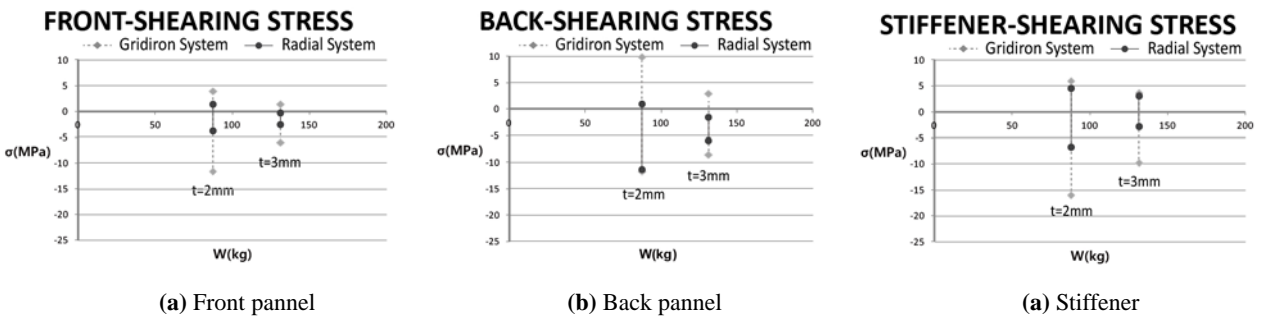


Fig. 5 Shear stress analysis graph

3. 결 론

본 연구에서는 비개착 공법 적용 시 굴착면의 붕락을 억제하기 위한 전면가압판의 1차 개선안을 현장에 적용하고 시공성을 검증해 보았다. 또한 구조적으로 유리하며 더욱 경량화된 전면가압판 개발을 위해 수치해석을 수행하여 최적 설계안을 도출하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 전면가압판의 1차 개선안은 EGI토류판을 적용하여 기존 전면가압판 대비 중량이 73.5% 저감되었으며 구조검토를 수행하여 인장 및 압축연에 대한 허용응력을 만족함을 확인하였다.
2. 보강재를 방사형으로 배치할 경우 응력 분포가 전반적으로 고르게 나타나며 격자형 보강재 대비 중량의 차이는 거의 없으나 발생 응력이 46~48% 저감되어 구조적으로 유리하다.
3. 최적 단면으로 도출된 2mm 방사형 가압판의 경우 1차 개선안 대비 중량이 67% 저감되어 시공성이 크게 향상될 것으로 판단된다. 그러나 방사형 보강재 제작 시 중앙부 용접의 작업성이 다소 저하될 가능성이 있으며, 격자형 가압판 또한 허용응력을 만족하는 단면이므로 차후 2차 개선안에 대한 현장 적용 및 데이터 분석을 통하여 최종 단면의 결정이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 건설기술연구개발사업(지반함몰 발생 및 피해 저감을 위한 지반 안정성 평가 및 굴착·보강 기술개발, 16SCIP-B108153-02)의 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] K.Y. Eum, M.H. Shin, J.H. Kim (2001) The analysis of ground behavior on the crossing construction under railroad using field measurement, *Journal of the Korea Society for Railway*, 5(2), pp. 83-89.
- [2] S.K. Kim (2002) *Soil Mechanics*, Cheong Moon Gak, pp. 138-139.
- [3] K.Y. Eum, C.Y. Choi, J.Y. Cheon (2010) Analysis of heaving and settlement test of scale model depending on shape of the pipe during pipe roof excavation, *Journal of Korean Geosynthetics Society*, 9(4), pp. 485-501.
- [4] B.E. You, H.S. Go (2006) Restoring Technology of Settled Structure and Ground Strengthening, *Spring Conference of Korea Concrete Institute*, 18(1), pp. 230-233.
- [5] S.W. Choi, Y.T. Park, S.H. Chang, G.J. Bae, et al. (2012) A numerical study in the three-dimensional ground movement by the trenchless construction method of concrete box by a square steel pipe supporting system, *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, 14(5), pp. 469-484.
- [6] K. Terzaghi (1943) *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, USA, pp. 182-215.