골 깊이 150mm N Deck 바닥판의 시공 안전성 (N Deck 공법)

150mm Deep N Deck Floor System for Constructing Safety (N Deck Method)

유 진 오*
Yu Jin-Oh

최 완 규**
Choi Wan-Gyu

김 영 호***
Kim Young-Ho

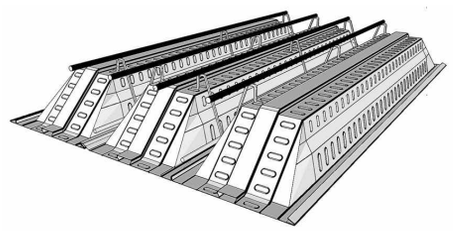
홍 순 호****
Hong Soon-Ho

1. 개요

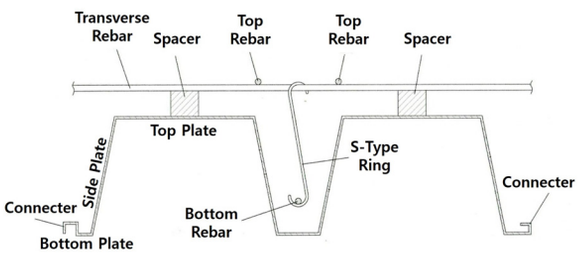
건축물의 바닥판을 구성하는 방법은 사용 재료나 설치·조립 방법에 따라 크게 3가지로 나눌 수 있다. 현장에서 작업을 수행하는 현장 타설 거푸집 공법, 공장에서 제작한 부재 요소(완전 또는 반 프리캐스트판)를 현장에서 조립 및 설치하는 프리캐스트콘크리트 공법, 그리고 고강도 박판 강제나 철선트러스근을 사용한 데크플레이트 공법이 여기에 해당된다. 데크플레이트 공법에는 단순한 거푸집강재로 사용하는 강제거푸집 바닥판 방식과 휨에 저항하는 인장요소로 사용하는 구조용 바닥판 방식이 존재한다. 이중 건축물의 모듈 크기 증가, 장스팬 바닥 형식, 노무 인력 최소화를 통한 시공성과 조립안전성 등을 고려하여 거푸집 방식의 데크플레이트 공법이 선호되고 있다. 2010년대 이후 1mm 전후 박판 강제를 사다리꼴 형태로 냉간성형 제작한 골형 데크플레이트는 제작, 운반, 설치가 용이할 뿐만 아니라 판좌굴에 안정적으로 설계된 단면 프로파일로 인하여 구조적 안전성이 우수하여 장스팬 바닥 구조에 적용성이 우수하다.

본 시공안전성에 관한 바닥판의 평가는 거푸집 데크플레이트에 대한 실물 검증 연구이다. 〈Fig. 1〉과 같은 단위 폭 600mm, 2개의 150mm 깊이 골을 갖는 0.8mm 두께의 사다리꼴형 데크플레이트(이하, 'N Deck'라 칭함)의 시공 단계에서의 구조적 안전성을 평가하고자 한다. 이에 스팬 4.6m, 폭 2m의 현장 실물 사이즈로 N Deck를 설치하고 콘크리트를 타설하면서 단계별로 발생하는 수직처짐과 횡변형을 계측하여 시공 안전성을 검증하였다.

* 유진구조이앤씨
YuJin Structural Eng. Construction Co.
** (주)티아이에프
T.I.F Co., Ltd.
*** 국립목포대학교 건축공학과 조교수
Dept. of Architectural Engineering, Mokpo Nattional Univ.
**** ㈜엔아이스틸
N.I. STEEL Co., Ltd.



〈Fig. 1〉 150mm deep N Deck



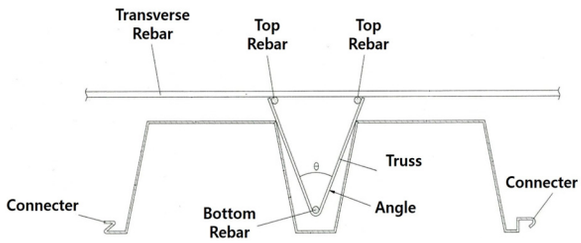
〈Fig. 2〉 Conventional deck system

2. N Deck 특징

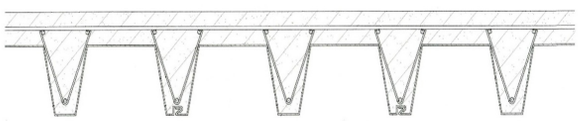
2.1 문제점 도출

기존의 춤이 깊은 데크플레이트는 〈Fig. 2〉와 같이 상부판, 측면판, 하부판 및 연결 수단이 하나의 골을 형성하며 2개의 골이 하나의 단위 유닛을 형성하는 형태이다. 하부판은 단위 유닛의 정중앙에 형성되고, 연결 수단은 양옆에 하나씩 형성된다. 데크플레이트의 철근 배근은 스페이서를 통하여 횡철근을 배치하고, 하부 철근을 S자형 고리를 통하여 데크플레이트의 바닥면과 일정한 거리로 이격되도록 횡철근에 배치한다. 이후 상부 철근을 배치하여 데크플레이트의 배근을 완료한다. 이렇게 바닥판 골조 구조가 완성되고, 데크플레이트의 상부에 콘크리트를 타설하여 콘크리트 바닥층을 경화시키는 방식으로 수행되었다.

이와 같은 종래의 시공 방법은 바닥판용 철근의 설치 조립 과정에서 많은 시간과 인력이 소요됨과 동시에 수평 상단 철근에 충격이 가해질 경우 스페이서가 이탈하게 되어 철근의 구조적 최적 위치를 벗어나 성능 발휘에 어려움이 발생하였다. 이에 따라 철근 위치와 조정도, 배치 작업성이 떨어지고 각각의 인력 배근 작업에 따른 공기가 길어지는 문제점이 있다.



(a) N Deck with rebar and truss-spacer



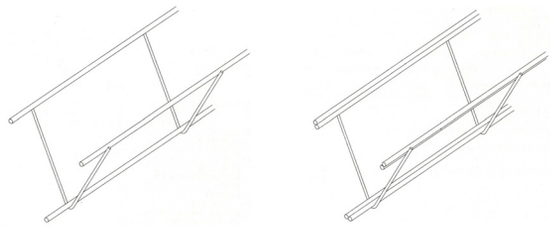
(b) N Deck with reinforced concrete

〈Fig. 3〉 N Deck system

2.2 N Deck의 구성 요소

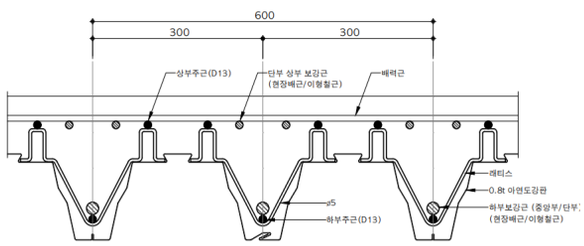
기존 데크플레이트의 단점을 극복하기 위하여 개발한 N Deck의 형상은 〈Fig. 3〉과 같다. N Deck는 기존 데크플레이트와 동일하게 상부판, 측면판, 하부판 및 연결 수단으로 하나의 골을 형성하며 2개의 골이 하나의 단위 유닛을 형성한다. 상부 철근과 하부 철근은 트러스스페이서를 통하여 고정되며, 트러스는 골과 홈의 모서리에 걸쳐져서 상부 철근과 하부 철근의 위치를 고정한다. 하부 철근은 하부판으로부터 약 30mm, 상부 철근은 토핑콘크리트를 고려하여 원하는 높이에 위치할 수 있도록 트러스스페이서를 조정할 수 있다. 배력근은 상부 철근 위에 위치하여 상부 철근과 직교하게 배치된다.

N Deck의 형태는 기존 데크플레이트와 유사하지만 S자 연결고리와 스페이서를 사용하지 않고 상부 철근과 하부 철근이 트러스스페이서를 통하여 단단하게 고정된다. 또한 트러스스페이서는 적정한 전개 각도를 통하여 데크플레이트에 직접 고정되기 때문에 시공이 용이하고, 철근 배근 완료 후에도 충격 등에 의하여 적정 위치로부터 이탈하는 문제가 발생하지 않는 구조이다. 또한 큰 사용 하중이 예상되어 철근의 보강이 필요한 경우 〈Fig. 4〉와 같이 상부 및 하부 철근을 2단 이상으로 배치하는 것이 가능하다.

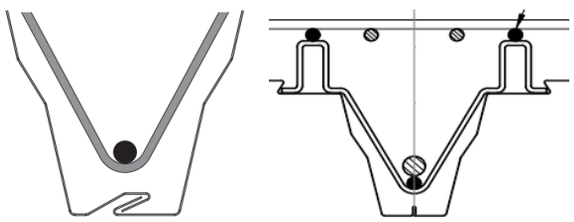


(a) One rebar type (b) Two rebar type

〈Fig. 4〉 Rebar assembled



(a) Installed rebars and deck section



(b) Bottom rebar detail (c) Truss-spacer detail

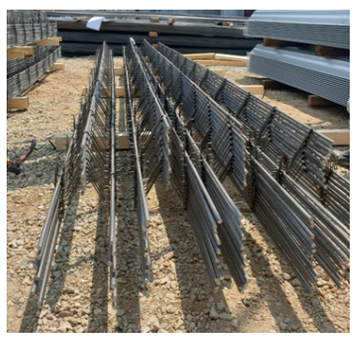
〈Fig. 5〉 Various detail of N Deck

2.3 N Deck 형상 및 시공

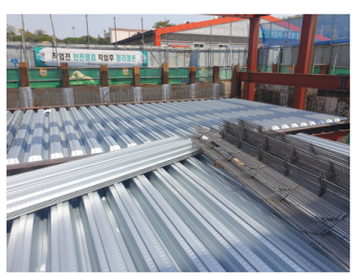
기존 데크플레이트의 연결 수단과 달리 N Deck의 데크 간 연결 수단은 〈Fig. 5〉와 같이 사선으로 꺾인 형상을 하고 있으며, 두 형태가 맞물리며 연결이 이루어진다. 기존 데크플레이트의 연결 수단은 홈에 맞추어 완전히 결속되도록 작업이 필요하다. 반면 N Deck의 연결 수단은 홈에 맞추어 끼워 넣으면 스스로 자리를 잡아 결속이 이루어지기 때문에 데크플레이트의 결속에 소요되던 작업 시간을 단축할 수 있다.

또한 N Deck의 골 철근이나 상단 철근을 용이하게 설치하고자 V자 형태의 트러스스페이서를 일체로 제작하여 〈Fig. 5 (c)〉와 같이 사용한다. 상부 철근과 하부 철근의 거리를 과도하게 길게 배치하고자 할 때 데크플레이트의 골 상단에 가로대를 설치하여 고정할 수 있다.

(a) Carry-in N Deck



(b) Carry-in pre-fabricated rebar



(c) Install deck plates

(d) Set-up rebars and deck

〈Fig. 6〉 Constructing stages of N Deck

〈Fig. 6〉은 공장 제작한 150mm 데크플레이트 반입, 공장 제작한 트러스스페이서 일체형 선조립 철근체 반입, 데크플레이트 판계, 선조립 트러스 철근체를 배근하는 과정을 보여준다.

3. N Deck의 실물 시공 평가

3.1 시공 단계 평가 개요

일정 스팬에 대한 시공하중을 지지하는 목적으로 사용하는 N Deck 데크플레이트는 작업하중과 콘크리트 타설 시 거푸집 역할을 수행하며 구조적 안전성을 만족하는 부재이다. 즉, 데크플레이트는 콘크리트 타설 시 거푸집으로 사용할 뿐만 아니라 작업 간 발생하는 하중에 대하여 과도한 처짐이 발생하지 않아야 한다. 시공 시 데크플레이트의 허용처짐에 대해 대한건축학회는 $l/180$으로 규정하고 있으며, ASCE(1992)와 ANSI(1986)에서는 $l/180$ 또는 20mm로 두 값 중 작은 값으로 하도록 하고 있다.

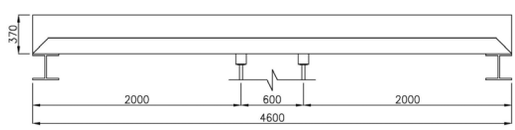
검증 실물 실험에서는 N Deck의 시공 중 안전성을 검토하기 위하여 콘크리트 타설 실험을 수행하였다. 실험체는 〈Fig. 7〉과 같이 실제 시공 환경을 고려한 하중지지용 구조 틀을 준비하고, 중심부에 국부좌굴을 방지할 수 있는 동바리와 목재 멍에를 설치하여 평가한다. 실물 실험체의 스팬 길이는 총 4.6m이며, 설치 데크플레이트의 폭은 2m이다. 본 실물 실험의 시공 경간을 고려하면 $l/180 = 25.6$ mm이며, 관리 규정에 의거하여 콘크리트 타설 실험간 최대 처짐이 20mm를 넘지 않아야 한다. 실험 관련 도면은 〈Fig. 8〉에 나타내었다.

실물 시공 환경을 고려하여 시공하중 재하 단계는 3단계로 실시하고, 단계별로 일정 콘크리트 높이를 타설한 다음 면 고르기 작업하는 과정을 반복하여 각각의 단계를 측정한다. 실험에 사용한 콘크리트는 보통 콘크리트로 24kN/㎥의 질량으로 가정하였다. 실험 단계별 토핑 콘크리트 두께는 실제 건축물에서 주로 적용하는 두께를 사용하였다. 실험체의 하중단계별 실험변수와 발생 하중을 〈Table 1〉과 〈Fig. 9〉에 나타내었다.

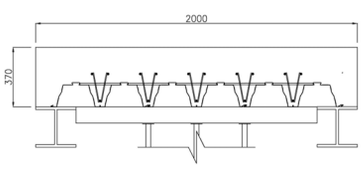
(a) Front view

(b) Center view

〈Fig. 7〉 Setup view



(a) Front view

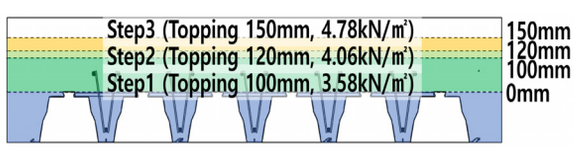


(b) Side view

〈Fig. 8〉 Sections of constructing stage

〈Table 1〉 Experimental variable by load step

Load step	Topping concrete (mm)	Unit load (kN/㎡)	Total load (kN)
1 Step	100	3.58	32.93
2 Step	120	4.06	37.35
3 Step	150	4.78	43.97



〈Fig. 9〉 Topping concrete by load step

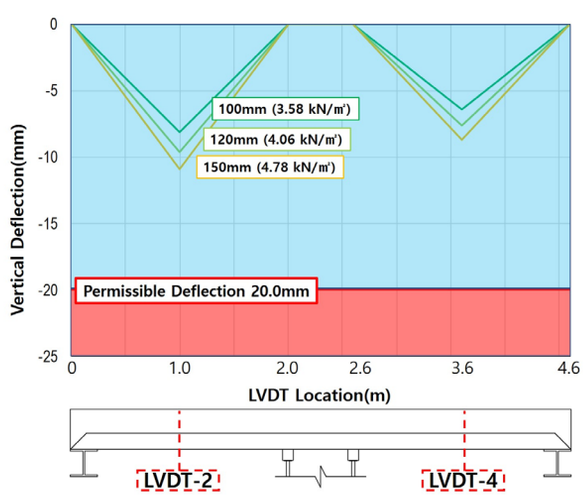
3.2 시공단계 평가 결과

콘크리트 타설 중 안전성 평가를 목적으로 실시한 실물 재하하중 단계별 발생한 수직 처짐의 결과는 〈Table 2〉, 〈Fig. 10〉, 〈Fig. 11〉에 나타내었다.

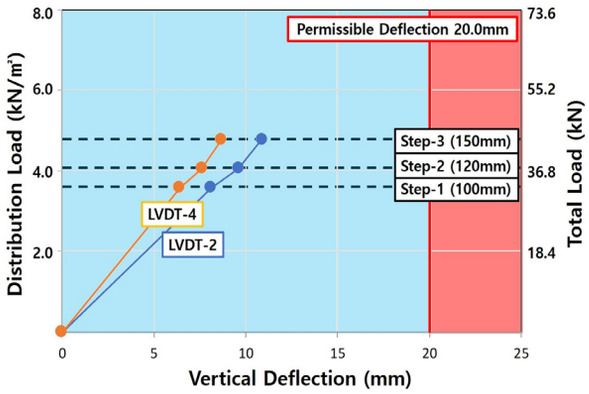
강제 데크플레이트 바닥판에 토핑콘크리트 100mm 타설 단계에서 발생한 수직 처짐은 최대 8.11mm이며, 토핑콘크리트 150mm 타설 단계에서 발생한 수직 처짐은 최대 10.9mm이다. 3단계에 걸친 시공하중 재하 평가 결과, 강판 두께 0.8mm, 골 깊이 150mm인 데크플레이트는 중앙에 동바리를 설치하고 평가한 4.6m 스팬에서 허용관리 처짐량 20.0mm 이하로 계측되었다. 통상적으로 실제 현장에서 토핑콘크리트 150mm를 초과한 시공하중의 경우가 드물지만 본 실물 검증 평가에서 최대 허용(관리) 처짐과도 충분한 안전성을 확보한 골 150mm 데크플레이트(N Deck)로 평가할 수 있다.

〈Table 2〉 Vertical deflection by load step

Topping concrete (mm)	Unit load (kN/㎡)	Left deflection (LVDT-2, mm)	Right deflection (LVDT-4, mm)
100	3.58	8.11	6.41
120	4.06	9.61	7.62
150	4.78	10.9	8.68



〈Fig. 10〉 Vertical deflection by loading steps



〈Fig. 11〉 Vertical deflection by loading steps

〈Table 3〉 Horizontal deformation by load step

Topping concrete (mm)	Unit load (kN/㎡)	Left deformation (LVDT-1, mm)	Right deformation (LVDT-3, mm)
100	3.58	2.80	3.35
120	4.06	3.65	3.60
150	4.78	4.25	4.10

〈Table 3〉에 하중단계별 발생한 데크플레이트 골의 횡 변형량을 확인하고자 수직처짐을 측정하는 위치에 좌측과 우측 각 1개씩 수평변위계(LVDT)를 설치하여 수평 변형을 측정하였다. 골의 최대 수평 변형은 토핑 콘크리트 100mm에서 3.35mm, 토핑 콘크리트 150mm에서 4.25mm가 발생하였다. 이는 실험체의 폭과 유효경간이 2m로 연속 2경간이며 폭이 동일하게 형성되어 있기에 폭 방향 강성의 영향으로 안정된 경향을 나타낸 것으로 판단된다.

4. 결언

150mm 골 깊이를 갖는 N Deck 데크플레이트는 기존의 골 데크플레이트 바닥판에서 골에 배치하는 하단 인장철근 및 상단 압축철근의 설치 조립성을 개선하고 효과적인 장스팬 구성이 가능하도록 한 것이다. 본고에서는 이에 대한 시공 중 안전성을 실물 검증하여 다음의 결과를 얻었다.

N Deck에서 발생할 수 있는 콘크리트 타설 시공하

중에 대한 처짐을 평가한 결과, 토핑콘크리트 100mm 타설 시 최대 8.11mm의 수직 처짐, 150mm 타설 시 최대 10.9mm의 수직 처짐이 발생하였으며, 이때 골 부분에서 수평변위는 4.25mm가 발생하였다. N Deck (150mm 골 데크플레이트)의 경우 시공 경간을 고려하면 $l/180 = 25.6$ mm이다. 기준에서 정하고 있는 시공 단계(콘크리트 타설)에서의 최대 허용처짐은 20.0mm이므로 본 N Deck는 시공 중 발생하는 하중에 대하여 구조적으로 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단한다.

References

1. Kim, Y. H., Oh, S. H., Kim, Y. J., Choi, W. G., Yu, J. O., & Kim, D. B., "Structural Performance Evaluation of N-Deck for Long Span Slab", Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol.32, No.4, pp.235~246, 2020, doi: 10.7781/kjoss.2020.32.4.235
2. Architectural Institute of Korea, "Synthetic Deck Plate Floor Structure Design Criteria and Commentary", AIK, Korea, 1998.
3. Jeon, S. H., Kyung, J. H., Kim, Y. H., Choi, S. M., & Yang, I. S., "Deflection Evaluation of the Constructing-Load Carrying Capacity for Deep Decking Floor System Reinforced with Both Ends Cap Plates", Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol.27, No.2, pp.155~167, 2015, doi: 10.7781/kjoss.2015.27.2.155
4. Kim, Y. H., Kim, D. B., Kim, D. J., & Kim, M. H., "Safety Evaluation of Semi-Slim AU Composite Beam During Construction", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.18, No.3, pp.57~66, 2018, doi: 10.9712/ KASS.2018.18.3.57