

툽이 깊은 곁형 데크플레이트의 단열재 곁채움 유/무에 따른 단열성능 검토

Heat insulation property evaluation of Deep-Deck according to insulation construction method



서 병 룡*
Suh, Byeong Ryong



홍 순 호**
Hong Soon Ho



김 도 범***
Kim, Do Bum



김 진 석****
Kim, Jin Seok



김 진 희*****
Kim, Jin Hee

1. 서론

기존 동바리 및 합판거푸집을 활용한 재래식 바닥 판 시공방법은 거푸집 설치와 해체 시 작업 효율성 저하, 안전관리의 어려움, 이에 따른 제경비 증가로 공사비가 증가하는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 최근 국내 건설시장에서는 시공성과 경제성이 우수하며, 가설공사 최소화가 가능한 데크플레이트 공법에 대한 수요가 증가하고 있다.

철근(철선)일체형 데크플레이트는 콘크리트 타설

시 강판이 거푸집 역할을 하기 때문에 설치가 용이하고 작업공간 확보가 가능하다. 하지만, 콘크리트 타설 시와 콘크리트 경화 전에 발생하는 시공 하중을 강판을 포함한 일체형 데크플레이트의 구조요소만으로 지지하여야 한다. 따라서, 무동바리로 적용 시 3,500mm 내외의 경간에 적용 가능하기 때문에 장경간 슬래브가 요구되는 구조물의 경우 <Fig. 1-(a)>와 같이 다수의 Sub-Beam과 함께 설계되는 적용상의 한계점이 있다.

이에 따라, <Fig. 1-(b)>와 같이 시공가능 경간을

- * 엔아이스틸 R&D LAB 연구소장, 상무이사
N.I STEEL R&D LAB, Director
- ** 엔아이스틸 데크사업실 실장, 이사
N.I STEEL Deck business office, Director
- *** 엔아이스틸 R&D LAB 책임연구원, 공학박사
N.I STEEL R&D LAB, Senior researcher
- **** 엔아이스틸 R&D LAB 선임연구원
N.I STEEL R&D LAB, Senior researcher
- ***** 공주대학교 그린에너지기술연구소 연구교수, 공학박사
Green Energy Technology Research Center,
Kongju National University, Research Professor



(a) Wireintergrated Deck



(b) Deep-Deck

<Fig. 1> Deck Construction

연장하여 골조공사 단순화가 가능한 춤이 깊은 골형 데크플레이트(Deep-Deck)가 개발되어 적용되는 추세이다.¹⁾



〈Fig. 2〉 Deep-Deck Insulation Construction

골형 데크플레이트는 평평한 바닥면을 갖는 기존의 일체형 데크플레이트와 달리 골이 있는 형상이다. 이로 인해, 단열 시공 시 판형 단열재만 시공할 경우 골 내부 공간에 공기층이 형성된다. 이는 단열성능 저하 및 결로발생 우려의 인식이 있어 〈Fig. 2〉와 같이 관행적으로 골내부에 단열재 채움시공을 실시해왔다.

그러나, 이러한 단열재 골채움 시공은 기존 일체형 데크플레이트에 빗댄 시공방식으로 단열재 골채움 여부에 따른 단열성능 저하 및 결로발생에 대한 연구는 존재하지 않는 실정이다.

골형 데크플레이트 단열재 골채움 시공공정이 생략 가능하다면 재료 및 공사비 절감과 공사기간 단축을 통해 골형 데크플레이트의 공법 경쟁력이 향상될 것이다. 따라서, 본 연구에서는 골형 데크플레이트의 단열재 골채움 여부에 따른 단열성능을 비교 분석하였다.

2. 해석적 단열성능평가

2.1 해석 조건

춤이 깊은 골형 데크플레이트를 적용한 콘크리트 슬래브의 단열성능 및 결로발생 여부를 분석하기 위하여 Physibel사의 전열해석 프로그램 BISCO(2D)와

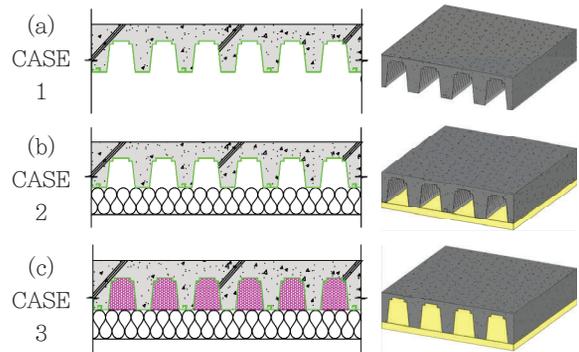
TRISCO(3D)를 사용하여 해석적 단열성능평가를 수행하였다.

시뮬레이션은 〈Fig. 3〉과 같이 D-Deck(골높이 200mm)와 N-Deck(골높이 150mm)에 하부단열재 종류 및 단열 시공방식을 변수로 4가지 경계조건(최상층, 지하주차장, 필로티, 외부주차장)에 대하여 수행하였다. 해석 시 D-Deck과 N-Deck의 두께를 동일하게 하기 위하여 D-Deck에는 토핑 콘크리트를 110mm 적용하였으며, N-Deck에는 160mm 적용하여 모델링 하였다. 단열 시공방식은 〈Fig. 4〉와 같이 단열재를 설치하지 않은 CASE 1, 판형 단열재만 설치한 CASE 2, 판형단열재와 골채움 단열재를 모두 시공한 CASE 3로 분류하였다.



(a) D-Deck(Depth, 200mm) (b) N-Deck(Depth, 150mm)

〈Fig. 3〉 Deep-Deck Shape



〈Fig. 4〉 Heat Insulating Method CASE

시뮬레이션에서 검토된 단열재는 골채움 단열재의 경우 모두 비드법보온판 1종 4호를 적용하였으며, 하부 판형단열재는 비드법 보온판 2종 1호(Thk.180), 압출법 보온판 1호(Thk.70), 경질 우레탄 2종 2호(Thk.250)을 적용하였다. 사용된 재료의 물성치는 〈Table 1〉에 정리하였다.

〈Table. 1〉 Material Properties

Material	Thermal Conductivity (W/mK)
Concrete	1.6
Steel	53
Air	0.025
EPS Type1-No.4	0.043
EPS Type2-No.1	0.031
XPS No.1	0.028
PIR Type2-No.2	0.023

〈Table. 2〉 Simulation boundary condition

Location	Boundary condition	Temperature
Roof	Directly outside air / Inside air	-11.3℃/20℃
Underground parking lot	Inside air / Indirectly outside air	20℃/-5.65℃
Pilotite	Inside air / Directly outside air	20℃/-11.3℃
Outside parking lot	Directly outside air / Indirectly outside air	-11.3℃/-5.65℃

2.2 경계조건별 해석 결과

4가지 경계조건에 대해 D-Deck에 대한 해석을 진행하였다. 경계조건에 따른 단열성능의 변화를 검토하기 위하여 단열재는 골채움 단열재에 비드법 보온판 1종 4호, 판형 단열재에 비드법 보온판 2종 1호를 동일하게 적용하였다.

데크플레이트 적용위치에 따른 4가지 경계조건(최상층, 지하주차장, 필로티, 외부주차장)의 온도 조건을 〈Table. 2〉와 같이 정의하였다.

해석결과 열관류율, 골 내부의 발생온도, 투입열량, 상대습도가 40%, 50%, 60%일 때의 노점온도(이슬점

온도)를 〈Table. 3〉에 정리하였다. 이 때 열관류율은 열전도율을 두께로 나눈 값으로 복합벽체의 단열성능을 비교할 수 있는 지표이다. 열관류율이 클수록 단열성능이 좋지 않음을 의미하며, 투입열량 또한 내·외부의 온도차이를 유지하기 위해 투입된 열량으로 값이 클수록 단열성능이 낮다는 것을 의미한다. 4가지 경계조건에 대하여 CASE 2, 3은 열관류율에 큰 차이가 발생하지 않았으나, CASE 1이 CASE 2, 3에 비해 약 17배 높은 열관류율을 보였다. 따라서, 단열재의 내부 골채움 유/무는 단열성능에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되며, 단열성능에 큰 영향을 미치는 요인

〈Table. 3〉 Simulation according to boundary condition

Location		CASE 1	CASE 2	CASE 3
Roof	U-value (W/m ² K)	2.750	0.162	0.162
	Temperature (℃)	12.57	-9.52	-9.50
	Heatflow(W)	515.77	15.95	16.15
	Dew point(℃) [40/50/60%RH]	7.8/ 11.1/ 13.9	-19.5/ -17.1/ -15.2	-
Underground parking lot	U-value (W/m ² K)	2.750	0.162	0.162
	Temperature (℃)	-5.0	18.57	18.52
	Heatflow(W)	198.84	6.90	7.14
	Dew point(℃) [40/50/60%RH]	-15.9/ -13.5/ -11.5	4.7/ 8.0/ 10.7	-
Pilotite	U-value (W/m ² K)	2.750	0.162	0.162
	Temperature (℃)	-9.72	17.61	17.65
	Heatflow(W)	515.77	15.95	16.15
	Dew point(℃) [40/50/60%RH]	-21.1/ -18.8/ -16.9	3.9/ 7.1/ 9.8	-
Outside parking lot	U-value (W/m ² K)	2.750	0.162	0.162
	Temperature (℃)	-6.82	-10.91	-10.91
	Heatflow(W)	93.10	2.88	2.92
	Dew point(℃) [40/50/60%RH]	-21.1/ -18.8/ -16.9	-20.8/ -18.4/ -16.5	-

은 하부판형 단열재의 시공으로 판단된다. 마찬가지로 CASE 2, 3는 단열성능(열관류율)이 비슷하게 나타났기 때문에 투입열량이 4% 내의 근소한 차이를 보였으나, CASE 1의 경우 투입열량이 CASE 2, 3에 비해 28~32배 높게 나타났다.

골내부의 발생온도는 상대습도가 각각 40%, 50%, 60%일때의 노점온도와 비교하였다. 노점온도보다 골내부의 발생온도가 낮을 경우 결로발생의 우려가 있다. 해석결과, 단열시공을 하지않았을 때 최상층에서 상대습도가 60%일 경우의 골하부의 온도가 노점온도보다 낮아 결로발생의 우려가 있다. 그러나, 단열재 골채움을 하지 않고 판형 단열재만 시공하여 골내부에 공기층을 유지하여도 4가지 모든 경계조건에서 상대습도가 가장 높은 60% 일 때의 노점온도보다 골내부의 온도가 높게 나타났다. 따라서, 단열재의 골채움 시공을 하지 않아도 골내부에 결로가 발생할 확률은 매우 적을 것으로 판단된다.

2.3 단열재 종류별 해석 결과

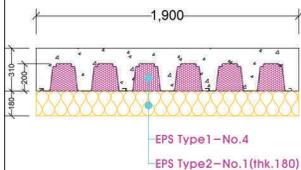
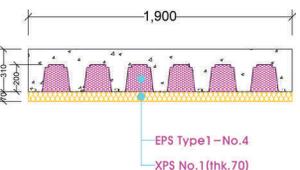
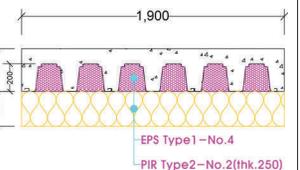
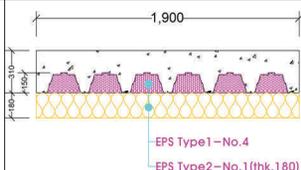
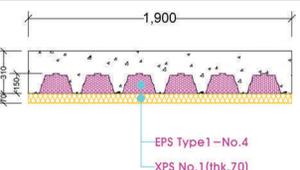
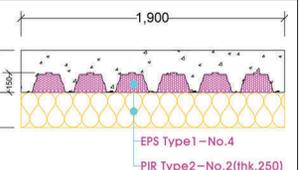
단열재 종류 및 골높이에 따른 단열성능의 변화를 검토하기 위하여, D-Deck와 N-Deck를 대상으로 해

석을 수행하였다. 해석은 골채움 단열재와 하부판형 단열재 모두 적용한 CASE 3에 대하여 최상층 경계조건으로 진행하였다. 해석 시 모델 단면과 해석결과 열관류율, 골 내부의 발생온도, 투입열량을 <Table. 4>에 정리하였다.

실험결과, 하부 판형 단열재 종류를 변경함에 따라 단열성능에 차이를 보였다. D-Deck와 N-Deck 모두 압출법 보온판 단열재를 적용하여 해석한 실험체의 열관류율이 비드법 보온판을 적용한 실험체에 비해 약 2배 높았으며, 경질 우레탄을 적용한 실험체에 비해 약 4배 높게 나타났다. 이는 <Table. 1>에 나타난 단열재의 고유 성질인 열전도율 및 단열재의 두께에 따른 차이로 보여진다.

그러나, 동일한 단열재를 적용했을 경우에 D-Deck와 N-Deck 사이의 열관류율 차이는 약 1% 내외이며, 투입열량의 차이는 약 3% 내외로 근소한 차이를 보인다. 따라서, 데크플레이트의 단열성능에 큰 영향을 미치는 요인은 골의 높이가 아닌 하부 판형 단열재의 성능으로 판단된다.

<Table. 4> Simulation according to insulation

Deck		EPS Type2-No.1(thk.180)	XPS No.1(thk.70)	PIR Type2-No.2(thk.250)
D-Deck	Modeling			
	U-value (W/m²K)	0.162	0.349	0.088
	Temperature (°C)	-9.65	-7.58	-10.11
	Heatflow(W)	16.16	30.57	9.01
N-Deck	Modeling			
	U-value (W/m²K)	0.162	0.349	0.089
	Temperature (°C)	-8.96	-6.21	-10.38
	Heatflow(W)	16.20	31.45	9.14

3. 실험적 단열성능평가

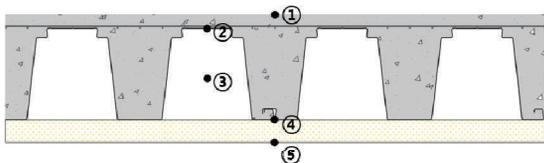
3.1 실험 계획

굵이 깊은 골형 데크플레이트를 적용한 콘크리트 슬래브의 단열성능을 검증하기 위하여 D-Deck와 N-Deck에 대하여 각각 3개씩 6개의 실험체를 제작하였다.

2장에서의 해석조건과 동일하게 실험체 별 변수를 단열재를 설치하지 않은 CASE 1, 판형 단열재만 설치한 CASE 2, 판형단열재와 골채움 단열재를 모두 시공한 CASE 3로 분류하였다. 실험장비의 허용중량과 크기의 한계로 인하여 실험체는 토폰콘크리트 30mm, 판형단열재 두께 50mm로 제한하였고, 폭은 1,200mm × 1,200mm로 제한하였다.

실험은 KS F 2277 [건축용 구성재의 단열성 측정 방법-교정열상자법 및 보호 열상자법] 표준에 의해 제작된 열관류율 시험장비를 이용하여 실험체의 단열성능 및 온도특성을 분석하였다.²⁾

실험체의 온도 특성을 분석하기 위하여 <Fig. 5>와 같이 ①항온측표면, ②골내부 플레이트, ③골내부 공기층, ④골내부 단열재 표면, ⑤저온측 표면에 온도센서를 부착하여 각 위치에서 온도변화를 측정하였다.



<Fig. 5> Thermocouple location

3.2 단열성능평가 실험 결과

항온실과 저온실의 온도를 각각 20℃와 0℃로 유지하며, <Fig. 5>에 나타난 열전대의 위치에서 D-Deck 및 N-Deck의 평균온도를 측정하였다. 측정된 평균온도 및 투입열량, 열관류율은 <Table. 5>에 정리하였다.

실험결과, 항온실과 저온실의 설정온도를 유지하기 위한 D-Deck의 CASE 1 실험체 투입열량이 163.6W로 CASE 2 대비 7.5배, CASE 3 대비 8.2배로 나타났다. 또한, 열관류율도 CASE 1이 CASE2, 3 대비 10배 이상 높게 나타났다.

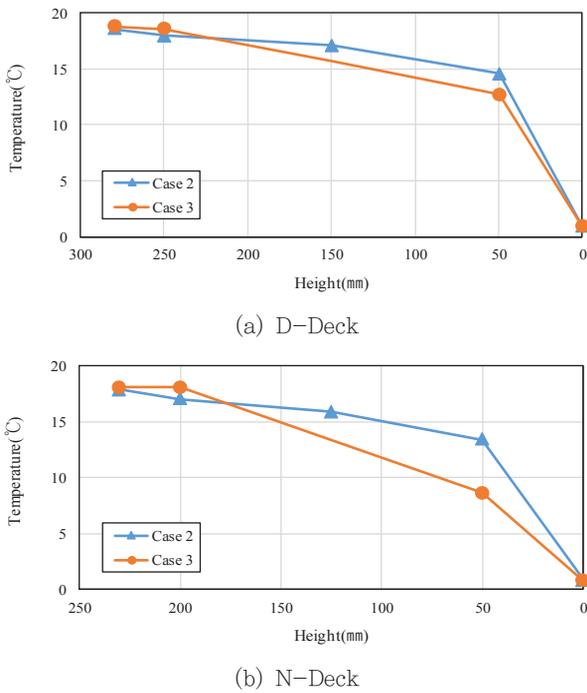
마찬가지로, N-Deck의 CASE 1 실험체 투입열량이 142.4W로 CASE 2 대비 3.9배, CASE 3 대비 4.2배로 나타났다. 또한, 열관류율도 CASE 1이 CASE2, 3 대비 5배 이상 높게 나타났다.

따라서, D-Deck와 N-Deck 모두 단열재가 부착되지 않은 CASE 1의 경우, 단열재가 부착된 CASE2, 3과 비교하여 낮은 단열성능을 보이는 유사한 경향을 확인했다. CASE 2와 CASE 3는 비슷한 온도특성을 나타냈으며, CASE 3 실험체가 골채움 단열시공을 했기 때문에 CASE 2실험체 대비 열관류율이 소폭 낮아 <Fig. 6-(a), (b)>와 같이 조금 더 큰 온도구배가 발생했으나, 차이는 약 2~4℃로 미미하게 나타났다.

또한, 열관류율도 D-Deck의 CASE 2가 0.62W/m²K, CASE 3이 0.56W/m²K를 나타냈으며, N-Deck의 CASE 2가 1.06W/m²K, CASE 3이 0.99W/m²K로 모두 10% 내외의 미미한 성능차이를 보였다. 따라서, 실험결과 굵이 깊은 골형 데크플레이트의 단열재 골채움

<Table. 5> Experimental Insulation Property Performance Evaluation Results

CASE	Result	Measurement average temperature (℃)						Heatflow (W)	U-value (W/m ² K)	
		Constant temp side	①	②	③	④	⑤			Low temp side
D-Deck	CASE 1	20.0	7.5	-	-	-	2.20	0.72	163.6	6.14
	CASE 2	20.1	18.6	18.0	17.1	14.6	0.89	0.36	21.7	0.62
	CASE 3	20.1	18.8	18.6	-	12.7	0.90	0.39	19.9	0.56
N-Deck	CASE 1	18.3	7.83	-	-	-	1.70	0.20	142.4	5.57
	CASE 2	20.2	17.8	17.0	15.9	13.4	0.85	-0.77	36.7	1.06
	CASE 3	20.2	18.1	18.1	-	8.63	0.80	0.40	33.6	0.99



〈Fig. 6〉 Temperature gradient graph

시공이 단열성능에 미치는 영향은 미미하며, 하부 단열재의 시공이 단열성능에 큰 영향을 미치는 요인으로 나타났다. 또한, 골의 깊이는 단열성능에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났다.

실험결과를 바탕으로 춤이 깊은 골형 데크플레이트의 단열재 적용 시 하부판형 단열재의 설계 근거로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 시공 사례

본 연구결과를 통해 춤이 깊은 골형 데크플레이트의 단열 시공 시에 단열재 골채움을 하지 않아도 하부판형 단열 시공만으로 단열성능을 만족시킬 수 있으며, 결로 발생의 우려도 없다는 것을 확인했다. 이에 따라 지하2층, 지상16층 규모의 청주 송정동 지식산업센터 신축공사 현장에 골채움 단열재를 생략하여 적용하였다.

해당 현장은 D-Deck가 36,094m² 적용되었으며, 단열시공은 1F(주차장)의 외기와 2F(근린시설)의 내기가 접하는 2F Slab에 적용하였다. 요구되는 단열성능에 부합하도록 하부 판형 단열재를 설계하여 시공하

였으며, 시공 경관을 〈Fig. 7〉에 나타내었다.

시공 결과, 경제적인 측면에서 골채움재가 생략되는 만큼 재료비가 절감되어 단열 시공비용을 약 5~7%가량 절감 가능하였다. 단열재료는 건축물의 수명이 다했을 시 건축폐기물로 분류되기 때문에 이는 환경적인 측면에서도 폐기물 소각비 및 매립비 절감에 유리하다. 시공적인 측면에서는 골채움 단열재를 생략함으로써 기성 단열재로만 시공이 가능해졌으며, 한가지 공정이 생략되었기 때문에 시공성이 좋아 시공속도가 향상되었다. 또한, 골내부 공간을 배관 및 설비 등의 통로로 사용 가능하여 미관이 수려하다.



〈Fig. 7〉 Deep-Deck application site

5. 결론

본 연구에서는 기존 골형 데크플레이트의 단열 시공 시 관행적으로 실행되는 골채움 시공의 타당성을 검토하기 위하여 단열시공 방법에 따른 단열성능평가를 진행하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 단열재의 골채움 유/무는 단열성능에 큰 영향을 미치지 않으며, 단열성능에 큰 영향을 미치는 요인은 하부 판형 단열재의 시공인 것으로 보여진다.

2) 골형 데크플레이트의 골 높이는 구조체의 열관류율 및 투입 열량에 미치는 영향이 미미한 것으로 분석되며, 구조체 하부에 적용되는 단열재의 종류 및 두께에 따라 단열성능의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

3) 골 내부에 단열재 채움 시공을 하지 않더라도 골내부의 온도가 상대습도 60%일 때의 노점온도 이하로 내려가지 않아 결로발생의 확률은 매우 적다.

따라서, 층이 깊은 골형 데크플레이트의 단열재 적용 시 단열재의 골채움 시공을 생략 가능할 것으로 판단되며, 하부판형 단열재의 설계 근거로 사용할 예정이다.

References

1. Heo, Inwook, Darkhanbat, Khaliunaa, Choi, Seung-Ho, Kim, Sung Bae, Yoon, Sang-Chun, Kim, Kang Su. (2022). Evaluation on Flexural Performance of Double Rib Unit Deep-Deck Plate Slabs. Journal of the Architectural Institute of Korea, 38(10), 257-264.
2. KS F 2277:2017, Thermal insulation - Determination of steady - state thermal transmission properties - Calibrated and guarded hot box