

다목적 바닥 레벨조인트의 변형 능력 평가

Evaluation on the Deformation Capacity of Multipurpose Floor Level Joint System

서 수 연* 최 윤 철** 강 인 석*** 이 리 형****
Seo, Soo Yeon Choi, Yun Cheul Kang, In Seok Lee, Li Hyung

Abstract

Multipurpose Floor Level Joint(MFLJ) is a new construction technology system which was developed in domestic. By using this system, it is possible not only to absorb the deformation at expansion joint due to shrinkages of concrete but also to make ease the floor leveling during the concrete casting at floor. The system consists of two elements, supporting devices and rails. Their structural capacities were verified through several experimental programs, such as compressive strength test of support and bending test of rail. The purpose of this paper is to evaluate the deformation absorbing capacity of the floor level joint. An experimental work was carried out to simulate the deformation condition at the joint and the test result was analyzed and evaluated. In addition, FEM analysis for expansion joint of typical building was also performed to predict the real behavior of MFLJ. The test results showed that MFLJ has sufficient deformation capacity required to act as expansion joint.

요 지

다목적 바닥 레벨조인트는 레일의 레벨링과 조립이 용이하고 조인트에서 변형 흡수가 가능한 공법으로 최근 국내에서 개발되었다. 앞서 수행된 연구결과를 통하여 본 공법의 구성부재인 지지대, 레일, 그리고 레일+지지대의 구조적 특성은 만족스런 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트를 타설한 바닥 레벨조인트의 변형흡수 능력을 평가하기 위해 인장 또는 압축변형을 유발시킨 실험적 연구를 실시하였다. 또한 다목적 바닥 레벨 조인트를 설치한 대상구조물을 선정하여 해석적 연구를 수행함으로써 다목적 바닥 레벨 조인트의 변형성능을 정량적으로 파악하였다. 실험과 해석연구를 통하여 다목적 바닥 레벨조인트는 요구되는 변형수요에 비하여 충분한 변형흡수 능력을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

Keywords : Multipurpose Floor Level Joint, expansion joint, deformation absorbing

핵심 용어 : 다목적 바닥 레벨조인트, 팽창줄눈, 변형흡수

* 정희원, 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

** 정희원, 한양대학교 건축공학과 박사과정

*** 정희원, (주)토탈인포메이션서비스, 수치해석과, 과장

**** 정희원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사

E-mail : 21ycchoi@netian.com 02-2290-0304

• 본 논문에 대한 토의를 2005년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2005년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근 건축물에 대한 고품질의 요구가 증가하고 있으며, 이에 따라 시공상의 정밀도가 날로 높아지고 있는 상황이다. 건물의 골조공사 뿐만 아니라 콘크리트 바닥시공에서도 기술 집약적인 시공이 필요한 것이다.

콘크리트의 바닥 표면은 직접 외부와 맞닿기 때문에 다른 부재에 비하여 마모가 빠르며, 바닥면의 수평한 정도에 따라 마모의 속도는 다르게 나타난다. 특히 외부 온도 변화에 따른 영향을 직접적으로 받음으로서 콘크리트의 수축과 팽창에 따른 균열이 발생하기 쉽다. 또한 발생한 균열은 수분 등의 침투를 허용하게 되고, 이는 장기적으로 볼 때, 내부 철근을 부식시키는 역할을 하게 되어, 콘크리트 바닥의 수명을 단축시키게 된다. 따라서 마감면의 표면 높이를 정확하게 시공함과 동시에 온도 변화에 따라 콘크리트의 건조수축에 의한 균열의 방지는 고품질의 콘크리트 바닥 시공에 중요한 요소이다.

최근 콘크리트 바닥 시공에 표면진동기를 사용할 때 레일의 조립이 용이하고 조인트에서 변형 흡수가 가능한 바닥 레벨 조인트(Multipurpose Floor Level Joint) 공법이 국내 기술로 개발되었다. 본 공법의 특징은 바닥에 레일을 설치하고 그 레일위로 표면진동기를 이동시켜, 콘크리트의 타설을 원활하게 할 뿐만 아니라 레일을 지지하는 지지대는 조립이 용이하며 정확한 높낮이가 가능하여 콘크리트 타설 높이의 기준이 된다. 또한 레일은 콘크리트 타설 후 신축과 팽창등을 흡수할 수 있는 조인트의 역할을 할 수 있는 공법이다. Fig. 1은 본 공법의 구성 부재인 지지대와 레일의 조립된 형태를 나타낸 것으로 앞서 수행된 연구결과^{1)~3)}를 통하여 지지대, 레일, 그리고 레일+지지대의 구조적 특성은 만족스런 결과를 얻을 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트를 타설한 바닥에서 온도 변화에 따라 수축과 팽창에 대한 레벨 조인트의 변형 흡수 능력을 평가하기 위해 개발된 레벨조인트를 설치하고 조인트에 수축과 팽창이 가능하도록 정, 부 모멘트를 유발시켜 조인트에서 변형량을 측정하였다. 또한 실제 구조물에 적용할 때 부분적인 조인트에서의 변형량 측정은 주변 조인트와의 영향을 고려하는데 다

소 무리가 있어 대상구조물을 선정하여 콘크리트 전용 해석 프로그램을 이용하여 실제 온도 변화에 따른 변형량을 실험결과와 비교 분석하고자 연구를 수행하였다.

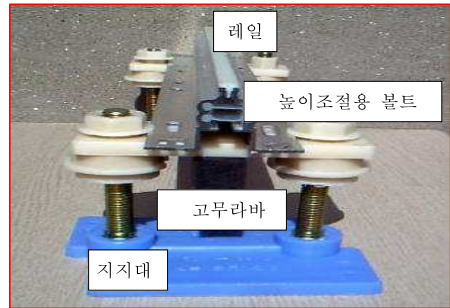


Fig. 1 다목적 바닥 레벨 조인트공법

2. 실험

2.1 실험체 계획

다목적 바닥 레벨조인트의 레일은 표면진동기를 지지할 뿐만 아니라, 타설된 콘크리트의 수축과 팽창을 흡수할 수 있는 성능이 있다. 즉 콘크리트 바닥판에서 익스팬션조인트(expansion joint) 또는 컨트롤조인트(control joint)의 역할을 하는 것이다.

마감콘크리트의 경우 여름에는 표면이 팽창하게 되어 조인트를 중심으로 하부면에 인장, 상부면에 압축 변형이 발생하게 된다. 반면에 겨울과 같이 내부에 비하여 외부 기온이 낮은 경우에는 상부면에 인장, 하부면에 압축변형이 발생하게 된다. 이와 같은 변형에 대하여 조인트부위가 원활히 변형을 흡수하지 못할 경우에는 콘크리트에 균열이 발생하여 열화를 촉진시키게 된다. 따라서 본 연구에서는 개발된 조인트의 변형흡수능력을 평가하고자 레벨조인트의 형태와 조인트에서 수축과 팽창변형을 유도하는 가력방법을 주요변수로 하여 실험을 실시하였다.

실험체는 Table 1과 같이 구조성능 실험²⁾을 통하여 우수하다고 판단된 LJ153 DUAL시리즈 4종과 기존의 현장 시공법과의 비교를 위해 재래식 컷팅(cutting)방법 3종으로 제작하여 바닥면에 인장과 압축을 유발시키는 2가지 가력 방법에 따라 총 14개의 실험

체를 제작하였다. 실험체 제작시 사용된 콘크리트는 설계기준강도 210kgf/cm², 슬럼프 12cm이며, Fig. 2와 같이 2m×0.6m의 실험체 중심부에 레벨조인트를 매립시킴으로써 현장여건과 유사하도록 설계하여 제작하였다.

2.2 실험방법

레벨조인트의 변형흡수능력을 평가하기 위한 실험체 설치 및 가력방법은 Fig. 3에 나타난 바와 같다. 그림에서와 같이 정, 부모멘트를 유발시키기 위하여 위치를 달리한 회전단으로 지지된 슬래브위에 수직하중을 가력하기 위한 100tonf의 오일잭(oil jack)을 설치하여 실험체를 점증가력하여 실험을 실시하였다.

Fig. 3(a)와 같이 가력한 경우에는 조인트부에 정모멘트를 유발시켜, 상부에 압축, 하부에 인장변형이 발생하게 되며 Fig. 3(b)와 같이 가력한 경우에는 상부에 인장, 하부에 압축이 변형이 작용하게 됨으로써 실제 구조물의 조인트에서 콘크리트의 수축과 팽창에 의한 변형 발생을 모델화 하여 균열흡수의 용이함을 판단하게 된다.

콘크리트의 수축과 팽창에 의한 균열흡수가 용이하도록 제작된 PE소재의 아령라이너로 구성된 레일부분의 조인트변형성능을 측정하기 위하여 레일을 매립시킨 슬래브 중심과 조인트부의 전체거동에 의한 처짐을 확인하기 위해 하부에 LVDT를 설치함으로써 수평과 수직변위의 측정이 가능하도록 하였다.

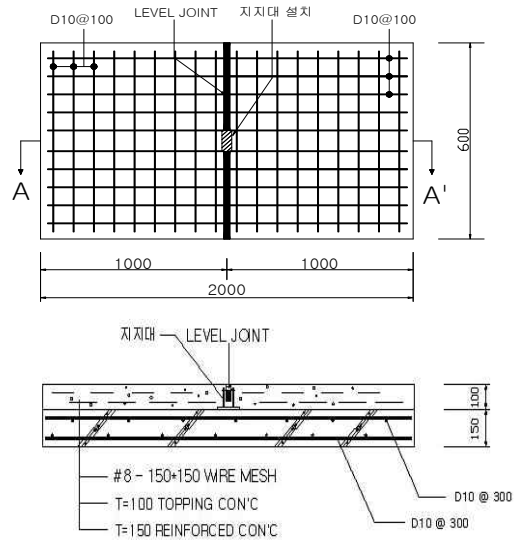
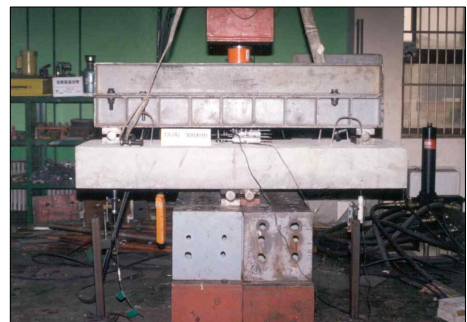


Fig. 2 실험체 형상 및 배근 상세



(a) 정모멘트 실험



(b) 부모멘트 실험

Fig. 3 조인트 변형성능 실험

Table 1 실험체 일람

실험체명	규격(mm)
LJ153DUAL-2504	25×04
LJ153DUAL-3004	30×04
LJ153DUAL-3010	30×10
LJ153DUAL-3315	33×15
Cutting	4mm
Cutting	10mm
Cutting	15mm

LJ153DUAL-0 0 0 0
 ① : 고유명칭
 ② : 레일의 높이
 ③ : 레일의 폭

3. 실험결과 및 분석

3.1 균열 및 파괴상황

조인트를 중심으로 변형흡수능력을 평가하여 레벨조인트의 기능을 검토하고자 한 조인트 변형성능 실험은 실험체에 하중을 점증가력하여 조인트부위에서 변형이 정지할때까지 측정하였다.

가력방법에 따른 각 실험체의 파괴상황을 살펴보면, 조인트부에 정모멘트를 유발시켜 상부에 압축, 하부에 인장변형을 발생시킨 실험방법(a)에서는 콘크리트의 수축, 팽창을 위해 완전 분리한 두 레일의 간격만큼 조인트부위에서 변형이 흡수되었다. 또한 부모멘트를 유발시키는 실험방법(b)에서는 조인트부위의 플라스틱 소재가 먼저 소정의 변형을 일으켰다. 하중을 점증 가력함으로써 양쪽의 레일이 완전분리되며 변형능력을 향상시켰으며 레일 하부의 구체콘크리트에 균열이 진행되었다.

레일의 시공법과의 조인트 변형성능 비교를 위한 기존 시공방법의 커팅(cutting)실험체의 경우는 커팅(cutting)부위의 하부까지 완전 균열이 발생함으로써 변형이 측정되기 시작하였다.

Fig. 4는 LJ153DUAL-3315 실험체에 나타난 최종 파괴상황으로 모든 실험체에서 유사하게 나타났다.

3.2 레벨조인트의 최대변형

실험체의 중앙에 수평으로 설치한 다이알게이지(dial gage)에 의해 측정된 최대변형은 Table 2에 나타낸 바와 같다. 조인트에 정, 부모멘트를 유발시킨 실험결과, 최저 4mm에서 최고13mm까지 변형이 일어나므로써 실험체가 휨 파괴 되었다.

Table 2에서와 같이 LJ153DUAL시리즈에서 레일의 폭이 가장 작은 LJ153 DUAL-2504, 3004 보다는 레일간격이 가장 큰 LJ153 DUAL-3315에서 변형이 크게 나타남을 알 수 있었다. 특히 재래식 시공방법의 커팅(cutting)실험체의 경우는 하중을 점증가력 하였지만 조인트의 초기변형은 일어나지 않은 채 균열이 발생함으로써 변형이 측정되었으며 그 범위 또

한 레일 실험체에 비해 작게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 5는 조인트부에서의 최대변형을 레일 실험체와 커팅(cutting)실험체를 비교한 것으로서 레일과 줄눈의 폭이 클수록 변형은 크게 일어남을 알 수 있으며, 또한 같은 폭의 경우 레일과 커팅(cutting)실험체를 비교한 결과 최대변형은 레일로 시공한 경우가 약 42% 더 크게 나타남을 알 수 있었다.

Table 2 실험결과

실험체명	최대 변형(mm)	
	정모멘트	부모멘트
LJ153DUAL-2504	4.02	4.72
LJ153DUAL-3004	4.31	5.82
LJ153DUAL-3010	8.91	12.60
LJ153DUAL-3315	13.23	14.36
cutting 4mm	0.32	2.13
cutting 10mm	6.31	5.40
cutting 15mm	6.39	9.75



(a)정모멘트



(b)부모멘트

Fig. 4 LJ153 DUAL-3315 실험체 파괴상황

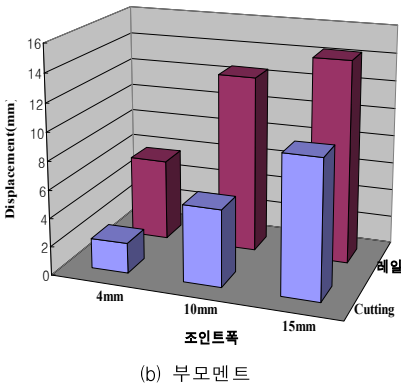
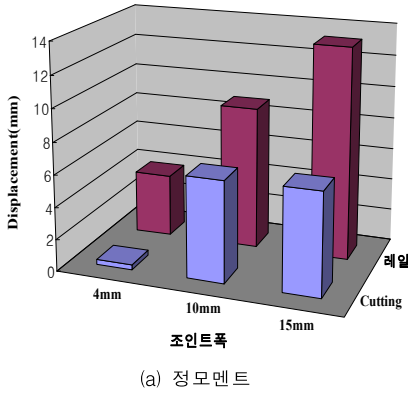


Fig. 5 레일조인트와 cutting실험체 변형량 비교

3.3 온도변화에 따른 변형량

외기에 노출된 콘크리트의 경우, 균열이 발생하지 않기 위해서는 Fig. 6과 같이 변형에 의해 발생하는 변위 Δ 가 Table 3에 제시된 값을 초과하지 않아야 한다.

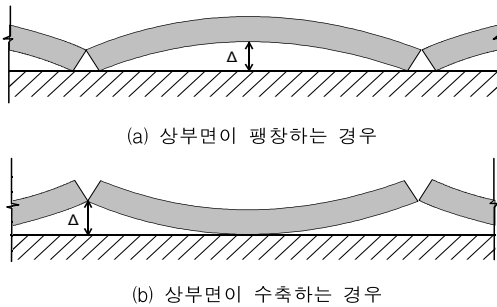


Fig. 6 슬래브의 온도 변화에 따른 변형 모습

Table 3과 같이 콘크리트내에 균열이 발생하지 않는 경우에 조인트부에 요구되는 변형량을 계산하면 다음과 같다.

$$\Delta = \frac{l^2 \alpha_T}{8h} (\Delta T_e - \Delta T_i) \quad (1)$$

여기서,

α_T : 온도 팽창계수 ($\alpha = 1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$)

l : 슬래브의 길이(mm), h : 슬래브의 두께(mm)

ΔT_e : 최대온도($^\circ\text{C}$), ΔT_i : 최저온도($^\circ\text{C}$)

Table 3 균열방지를 위한 Δ 값의 제한⁹⁾ 단위:mm(in)

구분	일반배근인 경우		부식방지된 철근 배근인 경우	
	단기하중	장기하중	단기하중	장기하중
Δ	10.16 (0.4)	5.08 (0.2)	25.4 (1)	15.2 (0.6)

$$\Delta = \frac{l^2}{8h} \Delta \varepsilon \quad (2)$$

$$\Delta \varepsilon = \frac{l^2}{8h} \Delta \quad (3)$$

Table 3에서 $\Delta = 0.4$ in이고, $l = 315$ in (8 m), $h = 3.94$ in (10 cm) 라면,

$$\Delta \varepsilon = \frac{8 \times 3.94 \times 0.4}{315^2} = 0.000127 \quad (4)$$

따라서, $\Delta l = 0.000127 \times 8000 = 1.016$ mm가 된다.

그리고, 온도 변화에 의해 콘크리트내에 균열이 발생하는 경우는 식 (5)의 콘크리트의 온도팽창계수를 고려하여 간단하게 다음과 같이 변형량을 계산할 수 있다.

$$\alpha = 1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C} \quad (5)$$

여름에는 최대 40℃, 겨울에는 -10℃라고 가정할 때 전체 변형은

$$\varepsilon_T = 1 \times 10^{-5} \times 50^\circ\text{C} = 0.0005 \quad (6)$$

따라서, 변형량

$$\Delta l = 0.0005 \times 8000\text{mm} = 4\text{mm} \text{가 된다.}$$

실험결과에 의하면, 인장변형에 대한 레벨 조인트의 변형은 14mm까지이고, 압축변형에 대해서는 거의 조인트 폭만큼의 변형을 할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 실제 요구되는 4mm를 충분히 상회함을 알 수 있다.

4. 해석적 연구

4.1 대상구조물 및 모델링 개요

대상구조물의 철근콘크리트 슬래브에 대하여 유한요소법을 2차원으로 모델링하여 온도변화에 따른 수축·팽창 정도를 확인하였다.

Fig. 7은 대상건물에서 해석모델로 선택한 슬래브의 위치를 나타낸다. 그림에서와 같이 3m×7m의 기본 모듈로 이루어진 사무소를 대상건물로 선정하였으며, 해석을 위한 단위 모듈은 길이 3m, 폭 1m의 일방향 슬래브에 대하여 길이 1m 간격으로 레벨조인트를 설치하였다.

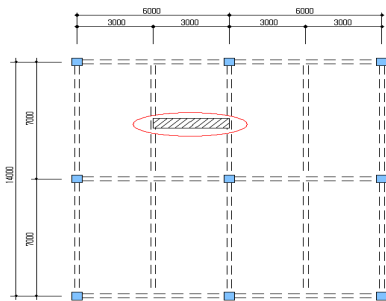


Fig. 7 대상구조물의 평면도 및 슬래브위치 (단위:mm)

유한 요소 해석에서는 실제 구조물이 외부의 온도변화에 의해 팽창 및 수축을 반복하는 상황을 표현하기 위하여 Fig. 8에서와 같이 외부에서만 온도변화를 고려하였으며, 동절기와 하절기의 온도변화를 고려하여 초기온도 20℃에서 -10℃로, 다시 -10℃에서 40℃로 변화하는 온도하중을 적용하였다(Fig. 9참조).

이러한 외기 온도의 변화를 고려하여 콘크리트 슬래브 내부의 온도변화를 구하기 위한 해석은 유한요소 해석 프로그램(Total-TEMP)을 이용하였으며, 구해진 온도변화에 따른 변형 및 응력해석에는 온도응력 해석 프로그램인 Total-STRESS을 이용하였다.

온도응력 해석시 콘크리트의 선팽창계수는 앞 절의 식 (5)를 적용하였다.

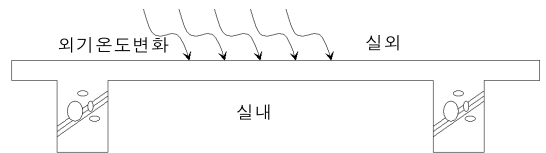


Fig. 8 구조물에 적용한 외기온도변화 개요

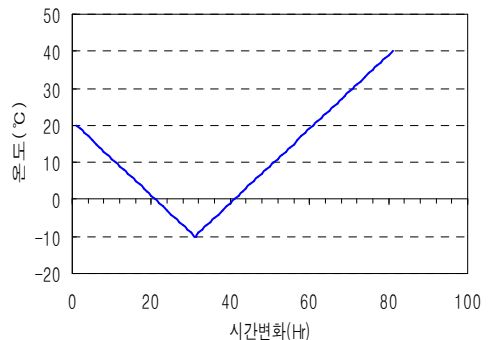


Fig. 9 시간에 따른 외기온도변화

해석에서 레벨조인트는 실험에 사용된 LJ153 DUAL 시리즈의 제원에 맞춰 폭을 변수로 모델링 하였으며, 그 일람은 Table 4에 나타내었다.

또한 해석모델의 경계조건으로는 슬래브의 연속성을 고려하고 양단부의 바깥면은 변형이 없는 중립면으로 가정하여 바깥면에 위치한 절점들에 대하여 x, y각 방향에 대한 이동을 구속하였다.

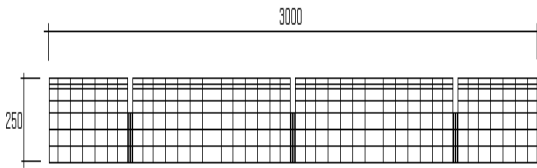


Fig. 10 해석모델의 메쉬분할

Table 4 해석모델 일람

모델명	레벨조인트폭 (mm)	레벨조인트깊이 (mm)	비 고
Case1	4.0	10.0	DUAL-3004
Case2	10.0	10.0	DUAL-3010
Case3	15.0	10.0	DUAL-3315

4.2 해석결과

레벨조인트의 종류에 따라 콘크리트 슬래브의 온도 변화에 따른 변형의 흡수능력을 유한요소법을 이용하여 해석한 결과, 레벨조인트의 폭이 넓어질수록 레벨조인트 부분에서의 변형 흡수 능력은 높게 나타나고 있으나 그 차이는 매우 작게 나타났다(Table 5 참조).

Fig. 11은 Case3의 경우 외기온도의 변화에 따른 변형 형태를 나타낸 것이다. 초기 온도 20℃에서 -10℃로 변화시 온도 하강에 따른 콘크리트 상부면의 수축에 의해 레벨조인트 부분이 벌어지는 것을 확인할 수 있으며, 다시 40℃까지 상승시 표면부의 팽창에 의해 조인트가 줄어들는 것을 확인할 수 있었다.

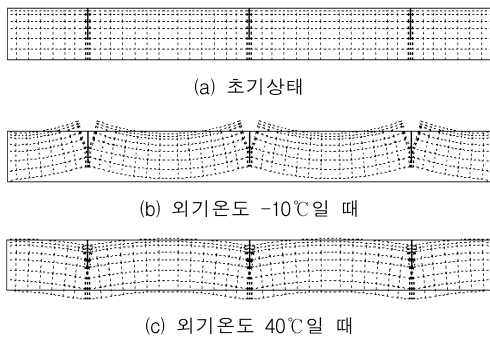


Fig. 11 외기온도 변화에 따른 변형도

해석 Case별 온도변화에 따른 레벨조인트 부분의 수축·팽창량은 Table 5에 나타내었다.

Table 5의 변형량은 Fig. 12에서 구한 온도변화에 따른 레벨조인트 부분의 한 쪽 변형량에 2배를 한 값이다.

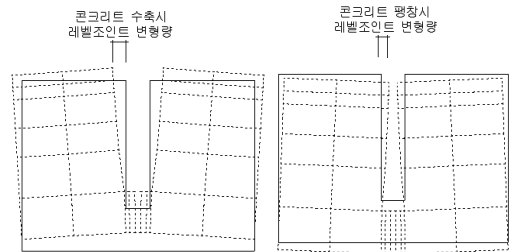


Fig. 12 콘크리트 수축·팽창시의 변형량

또한 Table 5에서 전체변형량은 외기온도가 최저 온도시에서 최고 온도시까지 변화 할 때 변형량을 나타낸 것으로 수축·팽창시의 변형량을 합한 값이다.

Table 5 콘크리트 수축·팽창시의 레벨조인트 변형량

모델명	콘크리트팽창시 변형량(mm)	콘크리트수축시 변형량(mm)	전체변형량 (mm)
Case1	0.280	0.177	0.457
Case2	0.282	0.179	0.461
Case3	0.286	0.180	0.466

Table 5에서 전체 변형량은 한 개의 레벨조인트가 흡수하는 콘크리트의 수축·팽창량으로 모두 3개의 레벨조인트가 설치되었으므로 전체 변형량은 평균적으로 1.384mm로 나타났다.

이는 콘크리트의 선팽창계수가 1.0×10^{-5} 일 때의 이론 계산값인 $1.5\text{mm}(1.0 \times 10^{-5}/\text{℃} \times 3000\text{mm} \times 50\text{℃})$ 의 약 92%에 해당한다.

따라서, 외기온도 변화에 의한 수축·팽창 변형량에 대하여 유한요소 해석 프로그램을 이용한 해석 결과 다목적 바닥 레벨조인트를 사용하여 시공할 경우 외기 온도변화로 인한 변형량을 충분히 흡수할 수 있을 것으로 판단되었다.

5. 결 론

다목적 바닥 레벨조인트에 대하여 변형 흡수 능력 평가를 위한 실험과 해석을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) 조인트의 변형성능을 실험한 결과, 조인트부에 압축변형을 유발한 정모멘트 실험체의 경우에는 조인트부의 폭 전체에 대하여 충분히 압축변형을 일으키는 것으로 나타났으며, 인장변형을 유발시킨 부모멘트 실험체의 경우에는 인장변형이 발생하다가 종국적으로 양쪽의 레일이 완전분리됨으로써 변형이 증진되는 것으로 나타났다.
- 2) 조인트부에서의 최대변형은 레일줄눈의 폭이 클수록 변형은 크게 일어남을 알 수 있으면 또한 같은 폭의 경우 레일과 컷팅(cutting)실험체를 비교한 결과 최대변형은 레일로 시공한 경우가 더 크게 나타남을 알수있다.
- 3) 조인트부의 변형능력평가에서 인장변형에 대한 레벨조인트의 변형은 4mm에서 14mm까지이고, 압축변형에 대해서는 조인트 폭만큼의 변형을 할 수 있는 것으로 나타났다. 이 값은 모든 레벨조인트에 실제 요구되는 폭을 충분히 상회하는 것으로써 레벨조인트부의 변형능력은 양호한 것으로 판단된다.
- 4) 유한요소법을 이용하여 연속경간 슬래브의 일부를 모델링 한 후 외기온도 변화를 -10°C 에서 40°C 까지 변화시켜가면서 레벨조인트의 종류별로 콘크리트 변형에 따른 흡수능력을 검토한 결과, 평균적으로 전체 변형량의 약 92%를 흡수 할 수 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 두정공영(주)과 한양대 초대형 구조시스템 연구센터의 연구비 지원하에 이루어진 연구의 일부로 이에 감사드리며, (주)토탈인포메이션서비스의 해석 연구 지원에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 두정공영(주), “다목적 레벨조인트 공법의 개발 및 성능평가에 관한 연구”, 2001.2.
2. 최윤철, 서수연, 지남용, 이리형, “다목적 바닥레벨 조인트 공법의 개발 및 성능평가에 관한 연구”, 2002년 한국콘크리트학회 봄 학술 발표회 논문집, 제14권, 1호, pp.953-958.
3. 황승원, 최윤철, 서수연, 지남용, 이리형, “다목적 바닥레벨조인트의 변형성능 평가에 관한 연구”, 2003년 한국구조물진단학회 봄 학술 발표회 논문집, 제7권, 1호, pp.37-42.
4. 정상진외, “건축시공학”, 기문당, 1999.1.
5. 한국콘크리트학회, “콘크리트 구조물의 균열”, 1997.2.
6. 한국산업안전규격, “금속 재료 인장 시험편 B 0801-1981”, 1991.
7. 두정공영주식회사, “다목적 레벨조인트 공법에 의한 기계식 쇄혼손 마감”, 기술시방서, 2001.11.
8. Diuk Energy, “D.U.Kit END with D.U.Kit 1-1/2 CONTROL JOINT”, Catalogue, 2000.
9. F. Bljger, “Temperature Effects in Buildings with Panel Walls”, Building and Environment, Vol 17, No.1, 1982, pp.17-21.
10. DYNPAC, “Mechanical Data for Dynamic Concrete Equipment”, Catalogue, 1998.

(접수일자 : 2004년 6월 22일) (급행)