

# 반복 일사하중에 대한 철근콘크리트 지붕슬래브의 구조적 거동

## Structural Behavior of RC Roof Slab under Cyclic Temperature Load

서수연<sup>1)</sup>                      윤승조<sup>1)\*</sup>                      조용만<sup>2)</sup>                      최기봉<sup>3)</sup>  
Seo, Soo Yeon                      Yoon, Seung Joe                      Cho, Yong Man                      Choi, Gi Bong

### Abstract

A variation of temperature acting on a RC roof slab causes a change of stress in concrete since it expands during summer and is compressed during winter. This behavior repeats annually and makes an affection to the structural capacity of member for both serviceability and ultimate level. In this paper, a cyclic temperature loading variation is calculated by analyzing the weather data of Korea for 20 years. In addition, an experimental work is planned to find the long term effect of temperature variation. Six RC slab are made with same dimension. Test parameters are loading duration (10, 20, 30 year) and whether it has pre-damage or not.

Observation of stiffness variations according to cyclic loading period shows that the serious stiffness drop happens after 10 year's cyclic loading at summer while after 30 year's loading at winter. From the fracture test about slabs damaged by long term cyclic loading, however, the capacity of member such as initial stiffness and maximum strength were not changed except yield strength according to the period of long term cyclic loading. The yield strength tends to decrease after 20 year's cyclic loading.

**Keywords** : Temperature, RC roof slab, Structural capacity, Cyclic temperature model, Cyclic loading, Fracture test

### 1. 서론

콘크리트의 온도응력에 관한 연구는 내적요인으로는 매스콘크리트의 초기양생 단계에서 발생하는 온도에 관한 연구와 외적요인으로는 콘크리트 타설시와 초기양생시 온도와의 상관관계에 관한 연구가 주류를 이루고 있다. 그러나 이러한 일련의 연구들은 콘크리트가 경화하기 시작하는 초기단계에 관한 연구이고, 주기적인 온도변화(일변화, 연변화)에 의한 장기적인 콘크리트의 거동에 관한 연구는 미비한 상태이다.

온도하중에 관한 기존 연구는 교량에 대한 야외 측정을 통하여 시작되었다. Elgaaly(1988)는 보, 벽, 슬래브에 대해 철근의 변형을 고려하여 온도변화로 인한 곡률의 영향을 검토하였고, Fernando A. B. 등(1993)은 슬래브, T형보, Box girder에 대하여 지형학적, 기하학적, 재료적 특성을 고려하여 해석한 결과를 비교분석하여 온도분포는 Fourier 열전달방정식을 통한 수치적 방법으로 풀 수 있고 콘크리트 교량의 경우 중·소규모의 스패에 대한 설계 시 여러 변수를 고려함으로써 해석할 수 있음을 시사

하였다. Frank 등(1990)은 온도와 기계적인 하중을 받는 철근콘크리트 모델을 제작하여 실험한 결과 온도하중이 구조물의 응력에 중대한 영향을 미쳐 균열이 발생하거나 국부적으로 파손을 일으키고 온도로 야기된 변형은 구조물의 약한 부분에 집중하는 경향이 있다고 보고하였다.

H. C. Fu 등(1990)은 plate girder, single cell box, two-cell box-girder에 대해 여러 변수를 고려해 온도분포를 구하고 야외 측정을 실시하여 서로 비교한 결과 온도분포에 가장 영향을 미치는 인자는 슬래브의 깊이에 대한 길이비라는 결론을 내렸다.

국내에서는 장성재 등(2002)이 온도변화와 건조수축에 의한 양생초기 변형률과 지연조인트 등의 관계를 3차원 구조해석을 통해 밝혔고 이성준(2002)과 여영건(2003)은 일사와 온도변화에 대한 콘크리트 부재의 거동변화를 연구하였다. 또한, 국외에서도 최근까지 온도하중의 예측법에 관한 실험 및 해석적 연구가 활발히 이루어지고 있다(ACI, 1988; 林幸雄他, 2005; 石川孝重他, 2006).

본 연구에서는 온도응력을 하중으로 환산할 수 있도록 기존연구자들에 의해 제시된 연구결과를 바탕으로 실제

1) 정회원, 충주대학교 건축공학과 교수

2) 정회원, (주)크로스구조연구소 기술사사무소 사원

3) 정회원, 경원대학교 건축공학과 교수

\* Corresponding author : sjyoon@cjnu.ac.kr 010-8842-0700

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 2010년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

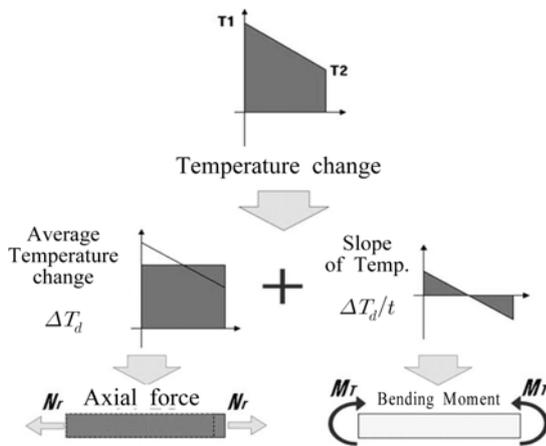


Fig. 1 Stress due to temperature change

이들 응력이 구조물에 장시간 작용하였을 경우에 대한 슬래브의 거동을 실험적으로 연구하고자 한다.

## 2. 온도하중의 일반사항

일반적으로 구조물에 생기는 온도응력은 온도가 상승하면 압축력이 발생하고, 온도가 하강하면 수축하여 인장력이 발생한다. Fig. 1은 건축물하중기준 및 해설(대한건축학회, 2007)에서 정의하고 있는 온도변화에 의한 구조체의 하중효과를 나타낸 것이다.

이 때, 구조물에 작용하는 축력( $N_r$ )과 휨모멘트( $M_T$ )는 식(1)과 식(2)로 계산된다.

$$N_r = E A \alpha \Delta T_d \quad (1)$$

$$M_T = \frac{E I \alpha \Delta T_g}{t} \quad (2)$$

여기서,  $A$  : 단면적,  $\alpha$  : 선팽창계수,  $\Delta T_d$  : 평균온도변화,  $\Delta T_g$  : 온도구배차,  $t$  : 부재두께

## 3. 온도하중의 설계 프로세스

### 3.1 온도변화에 영향을 주는 요인

#### 3.1.1 외기온도

외기온도가 건물에 미치는 영향은 옥상층 슬래브의 구속변형, 인장응력 발생과 동시에 일변화, 연변화의 영향을 받기 때문에 시간변화에 따라 균열폭이 커지게 되는 것이다. 따라서 본 연구에서는 전국의 주요도시(서울, 부산, 대구, 대전, 강릉, 춘천)를 선정하여 20년간의 최고·최저 평균온도를 Fig. 2와 같이 산정한 결과, 최고평균온도가 가장 높은 대구지역을 모델화하기로 하였다.

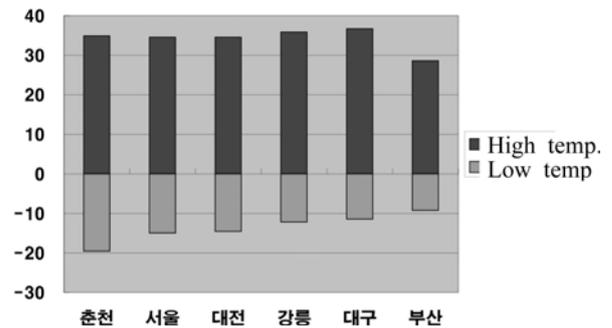


Fig. 2 Average local highest/lowest temperature in Korea

Table 1 Indoor temperature (Japan)

Season	Month	Indore temperature
Winter	12, 1, 2, 3	22°C
Summer	6, 7, 8, 9	26°C
Spring and fall	4, 5, 10, 11	24°C

#### 3.1.2 일사

일사는 태양빛이 지구대기의 영향을 받아 생기는 복사 에너지로 대기에 의한 흡수 혹은 반사의 영향을 받지 않는 직접일사, 대기에 의해 흡수되거나 반사되어 대기에 균열하게 분포되는 분산일사, 직접일사와 분산일사에 의해 지표면에 반사되는 지면반사일사의 세 가지 형태로 구분할 수 있다.

직접일사는 대기에 의해 산란되지 않은 채 지면에 닿은 태양광선으로 부재의 비선형온도분포와 부분적인 일사를 일으키는 주원인이 되며, 분산일사는 태양광선이 대기에 의해 산란되어 균열하게 대기에 분포되는 햇빛으로 직접 닿지 않는 실내에서도 밝게 보일 수 있는 이유가 분산일사에 의한 것이다.

본 연구에서는 20년간의 실측자료를 토대로 하루 중 최대 일사량만을 가지고 평균을 내어 외기온도와 함께 구조체 외부온도를 산정하였다.

#### 3.1.3 실내온도

실내온도는 구조체의 내·외부 온도구배차로 발생하는 휨모멘트 변화 등의 이유로 매우 중요하다. Table 1은 일본건축학회(일본건축학회, 2004)에서 계절별로 규정하고 있는 실내온도가 되고, 각 계절의 적용기간과 실내온도를 알 수가 있다. 이 값은 국내의 기온변화와 유사하기 때문에, 본 연구에서는 이 값을 실내온도로 가정한다.

### 3.2 온도싸이클의 모델화

본 연구에서 평균온도변화( $\Delta T_d$ )와 온도구배차( $\Delta T_g$ )는 앞의 내용에 따라 기상청의 20년간 온도실측데이터와 일사량 데이터를 가지고 계산하였다.

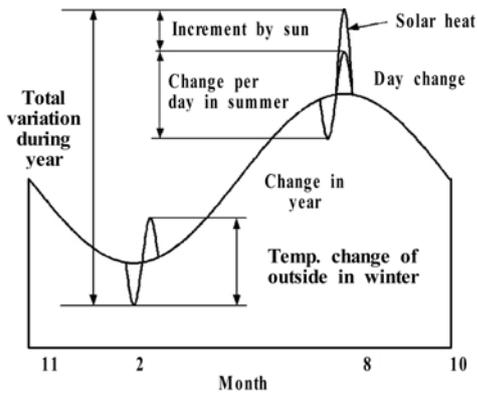


Fig. 3 Outside temperature variation due to sunlight

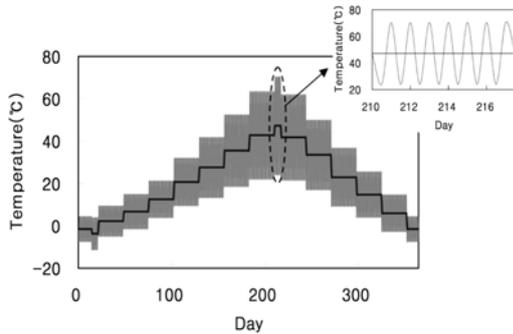


Fig. 4 Annual outside temperature history in Daegu

일본건축학회에서 정의하고 있는 일사량을 고려한 외부기온 변동모델은 Fig. 3과 같다. 일사에 의한 증분은 하절기(6~9월) 주간에만 고려하는 것으로 정의하고 있으며, 일사에 의한 증분을 고려한 구조체 외부온도( $T_{SAT}$ )는 식(3)을 통해 계산한다.

$$T_{SAT} = T_0 + \frac{a}{\alpha_o} J \quad (3)$$

여기서,  $T_0$  : 외부온도( $^{\circ}\text{C}$ ),  $a$  : 일사흡수율,  $\alpha_o$  : 외부표면종합 열전달율( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ),  $J$  : 일사량( $\text{W}/\text{m}^2$ )

외부기온의 온도변화는 연변동에 일변동을 더하여 나타낼 수 있고, 일변동 곡선은 일평균 기온을 중심으로 한 1일 주기 변동에 일사의 영향을 고려한 것이며 연변동 곡선은 일평균 기온을 1년 주기로 한 변동을 나타낸 것이다.

Fig. 4는 Fig. 3을 토대로 대구지역의 외부기온변화를 모델화한 것이다. Fig. 4에서 연변동 곡선의 최고점과 최저점은 실측데이터를 기준으로 연간 일평균최대온도와 일평균최저온도로 결정하였으며, 평균온도변화는 4주 단위로 구분지어 증가 또는 감소시켰다.

일변동 곡선에서 하절기(6월~9월)의 주간 온도는 일사량을 고려하여 식(3)에 의해 계산하였고, 그 외에는 외부기온만을 고려하여 결정하였으며 4주 단위로 평균하여 계산하였다. 이 때, 연간 최고치와 최저치는 1주 단위로 구분되었다.

### 3.3 온도구배차 및 휨모멘트 산정

Fig. 5는 무단열 단면일 때와 방수층과 단열재를 적용하였을 때의 온도구배를 계절별 실내온도를 고려하여 산정한 것이다. 온도구배의 계산은 열전달 프로그램을 이용하여 단면재질 등을 설정하여 계산할 수 있었다.

Fig. 5의 온도구배를 이용하여 대구지역의 외부기온변화 온도싸이클 곡선을 가지고, 온도구배차를 구할 수 있었고, 또한 온도구배차를 식(2)를 이용하여 구조물에 작용하는 휨모멘트를 계산할 수 있었다. 여기서, 휨모멘트는 (+) : 정모멘트, (-) : 부모멘트를 나타낸다. Fig. 6은 대구지역의 외부기온변화에 따른 온도구배차와 휨모멘트의 변화를 나타낸다.

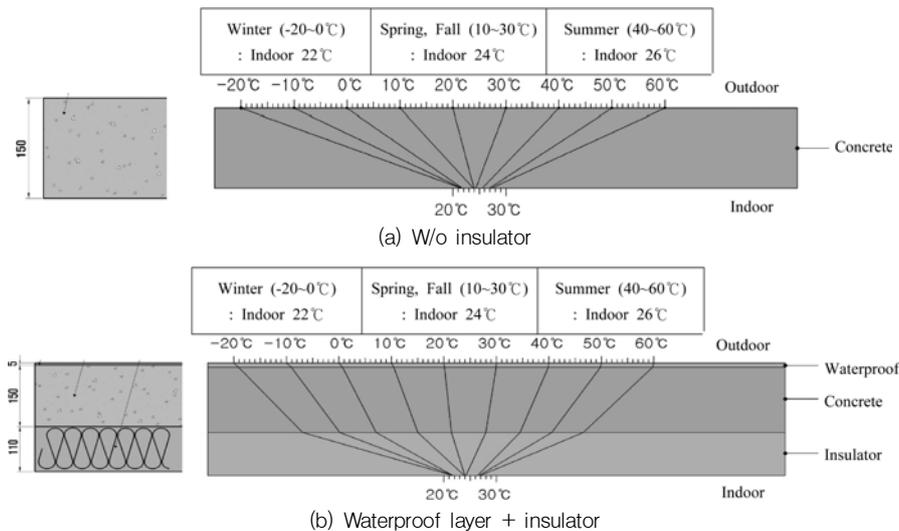


Fig. 5 Temperature variation due to insulator

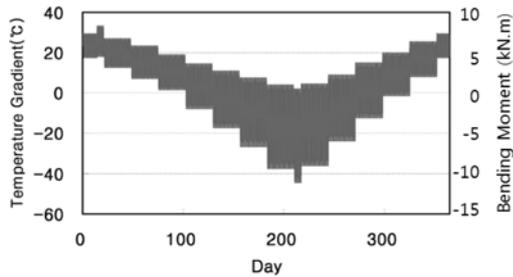


Fig. 6 Temperature(moment) variation for a year

#### 4. 실험

##### 4.1 실험체 계획

본 실험의 목적은 반복된 온도응력이 장기간 작용할 경우에 있어서 콘크리트 휨부재의 거동변화를 실험적으로 관측하려는 것이다. 실험방법은 변동하는 온도에 장기간 실험체를 노출시키지 않고, 온도변화를 응력으로 환산하여, 초당 10kN으로 동적인 효과가 발생하지 않도록 가력하여 부재의 거동변화를 관찰하였다.

주요 실험변수는 온도응력의 작용기간으로 하였으며, 대상 부재는 상부슬래브에 대해 1방향 슬래브로 계획하였고, 1방향 슬래브의 기본개념 정립과 구조상세를 근거로 하여 설계하였다. 실험체는 실험기기의 용량을 고려하여 슬래브의 일부분만을 대상으로 제작하였다. Table 2는 실험체일람을 나타내고 Fig. 7은 실험체 상세를 나타낸다.

##### 4.2 사용재료

본 실험에 사용된 철근 및 콘크리트의 재료시험은 KS B 0802, KS F 2405의 규정에 따라 실시하였으며, 시험결과, 철근은  $f_y$ 가 461MPa,  $f_u$ 는 678MPa로 나타났다. 콘크리트에 대한 28일 실린더강도는 25.8MPa로 나타났다.

##### 4.3 실험방법

실험체는 Fig. 8과 같이 반력프레임의 상부에 설치한 Actuator를 실험체의 상/하부에 설치한 C형강과 연결하여 2점가력형태로 실험체가 정/부방향 하중을 받을 수 있도록 계획하였다. 또한, 실험체가 정가력(+), 부가력(-)의 반복온도하중을 받을 때, 단순지지 거동을 유도하기 위해 실험체의 좌측하단과 우측상단에는 힌지를 좌측상단과 우측하단에는 롤러를 설치하였다.

실험체의 가력부 중앙하단에는 편심여부를 고려하여 자동변위계(LVDT)를 전·후 위치에 설치하였다. 그리고 하중이력에 따라 가력주기 변수별로 하중제어를 통하여 변위, 철근 및 콘크리트의 변형률, 반복온도하중과 최종

Table 2 Specimen list

Name	Size (mm)	Loading duration (year)	Remark
Y-0	1000×600×150	0	Monotonic loading
Y-10		10	-
Y-20		20	-
Y-30		30	-

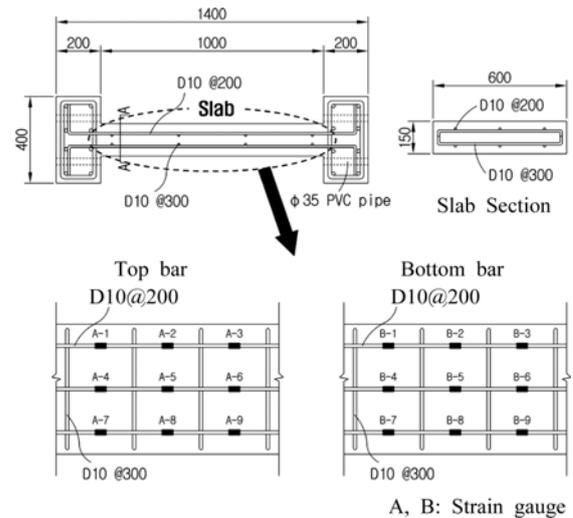


Fig. 7 Detail of specimen



Fig. 8 Test setup

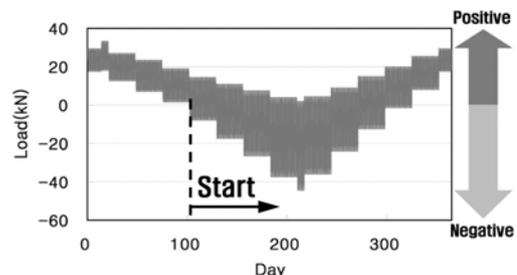


Fig. 9 Loading history during a year

적으로 실험체의 보유내력을 측정하였다.

본 실험에서의 하중이력은 앞서 계산된 온도구배차와 휨모멘트를 근거로 단순지지에서 2점 가력일 때의 하중으로 환산하여 Fig. 9와 같이 하중의 크기가 일정하지 않은 1년 주기의 온도하중을 가력주기만큼 반복가력을 하

Table 3 Calculated temperature load(w/o insulator, Daegu)

Day	Loading step	Temperature variation ( $\Delta T_y$ )		Bending moment (kN·m)		Temperature Loading (kN·m)	
		Night	Day	Night	Day	Night	Day
108	1	14.5	-8.0	3.26	-1.80	14.5	-8.0
115	2	11.0	-17.5	2.48	-3.94	11.0	-17.5
142	3	7.5	-26.5	1.69	-5.96	7.5	-26.5
169	4	4.0	-37.5	0.90	-8.44	4.0	-37.5
196	5	2.0	-44.5	0.45	-10.00	2.0	-44.5
223	6	4.5	-36.0	1.01	-8.10	4.5	-36.0
250	7	9.0	-24.0	2.03	-5.40	9.0	-24.0
277	8	15.0	-12.5	3.38	-2.81	15.0	-12.5
284	9	20.0	-1.5	4.50	-0.34	20.0	-1.5
311	10	25.5	8.0	5.74	1.80	25.5	8.0
338	11	29.5	17.5	6.64	3.94	29.5	17.5
365	12	33.4	18.0	7.52	4.05	33.4	18.0
27	13	27.0	12.5	6.08	2.81	27.0	12.5
54	14	23.5	7.0	5.29	1.58	23.5	7.0
81	15	19.0	1.5	4.28	0.34	19.0	1.5

였고, 하루를 1사이클로 고려하여 1년의 경우 365회의 반복가력을 실시하였으며, 이때의 각 사이클은 총 15개의 단계로 구분하여 실시하였다.

중국단계에서, 실험체의 구조성능을 평가하기 위하여 계획된 기간동안의 반복가력을 실시한 후, 점증가력하여 실험체가 최종파괴될 수 있도록 하고 그때의 거동을 관찰하였다.

반복온도하중은 계산된 최대휨모멘트(Mmax)를 이용하여 본 실험의 계획된 가력방법에 따라 단순지지조건 (2점가력)을 고려하여 산정하였다. 반복온도하중 계산결과 일사량 및 기온의 영향을 받는 상부슬래브는 하중의 크기가 일정하지 않고 크기가 변하게 되며, 이는 실제 구조물에 작용하는 하중이 항상 일정한 하중이 아니라는 점에서 볼 때 상당히 중요하다고 할 수 있다. 하절기에는 (-) : 부가력, 동절기에는 (+) : 정가력을 나타내고, Table 3은 앞서 계산된 온도구배차와 휨모멘트, 반복온도하중의 결과이다.

## 5. 실험결과 및 분석

### 5.1 균열 및 파괴 양상

가력주기 0년인 기준실험체 Y-0은 점증하는 하중에 대하여 Fig. 10과 같이 측면 하단부에서 최초 계산된 균열하중과 거의 비슷하게 32kN에서 초기균열이 발생하였고, 하중이 증가함에 따라 인장측 단면이 손상되고, 균열 간격이 좁아지면서 지점방향으로 휨균열이 발생하였으며,

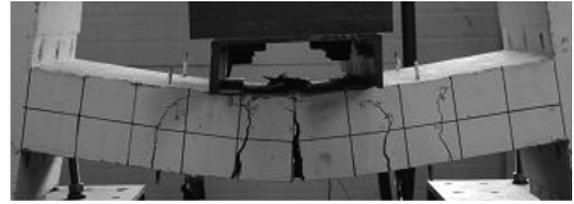


Fig. 10 Typical failure pattern of specimen (Y-0 specimen)

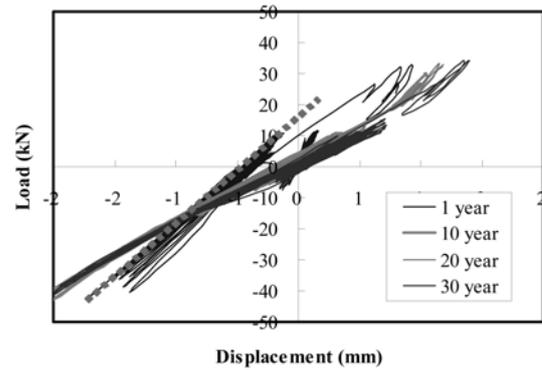


Fig. 11 Load-displacement curve of Y-30 specimen

중앙부 균열과 미세균열이 실험체 전체에 걸쳐 나타났다. 이후 처짐이 증가하면서 하단부의 균열폭이 크게 상승하였고, 72kN에서 인장측 주근이 항복하였다. 그리고 최대 하중 94.9kN를 지나면서 최종파괴 되었다.

반복응력을 가력한 Y-10은 가력주기 1년의 하절기에 해당되는 4, 5사이클 (Fig. 12에서 4일, 5일을 의미함)에서 상하 가력부를 따라 균열이 발생하였고, 측면 상부의 가력부를 따라 중립축까지 균열이 진전하였다. 이 균열은 10사이클에서 상하부로 이어지는 관통균열로 발전하였다. 이와 같은 균열은 가력주기 3년까지 균열이 점점 확산되는 양상을 보였으나, 그 이후에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

가력주기 20년과 30년인 Y-20, Y-30 실험체에서도 이와 유사한 경향을 나타내는 것으로 나타났다.

### 5.2 반복온도하중에 대한 거동

Fig. 11은 반복하중을 가장 많이 경험한 Y-30실험체의 중간기인 15년째에서 1Cycle과 8Cycle, 하절기의 5Cycle, 동절기의 12Cycle시의 거동을 나타낸 것이다. 가력 초기인 1년 사이에 강성이 감소된 이후, 하절기에 접어들면서, 비선형 거동을 보이며 강성이 저감되었음을 알 수 있으며, 그러나 10년 이후에는 반복횟수가 증가하더라도 강성이 현격히 저하되지는 않는 것으로 나타났다.

Table 4와 Fig. 12는 년도별 가력사이클에 따른 강성의 변화를 나타낸 것으로서, 1년, 10년, 20년, 30년 후의 강성을 모두 원점으로 이동시켜 계산한 결과를 나타낸다. 표와 그림으로부터, 여름의 경우에는 10년에서 1년일 때

Table 4 Stiffness variation

Year	Summer			Winter		
	Dis. (mm)	Load (kN)	K* (kN/mm)	Dis. (mm)	Load (kN)	K* (kN/mm)
1	1.18	40	34.00	-0.65	-30	45.92
10	1.68	40	23.82	-0.74	-30	40.77
20	1.77	40	22.63	-0.70	-30	43.10
30	1.85	40	21.58	-0.95	-30	31.58

\* Stiffness=Load/Dis.

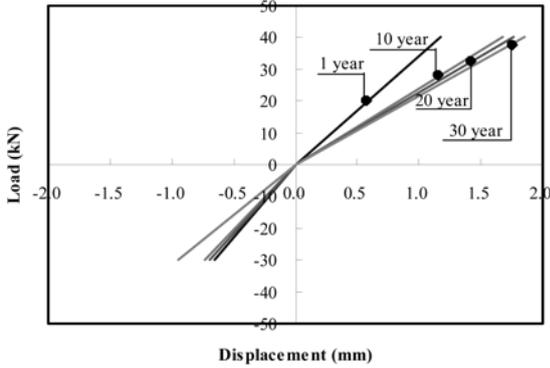


Fig. 12 Stiffness variation of Y-30 specimen

의 강성과 비교하여 약 30% 정도 감소되고 그 이후에는 전체적으로 강성의 변화가 미약한 반면 겨울의 경우에는 큰 변화가 없다가 30년 이후에서 31% 강성(1년과 비교)이 저하되는 것으로 나타났다. 이로부터 여름의 경우 외기에 노출된 면에서 사용상의 성능저하가 10년 정도부터 발생하는 것으로 간주할 수 있다.

반복하중에 의한 정가력, 부가력시 각각의 최대하중에 대한 각 년별 처짐 및 변형률의 최대/최소값을 Fig. 13과 Fig. 14에 나타낸 바와 같다. 가력년수 증가에 따른 처짐(실험체 중앙부 변위)과 변형률(중앙상부근: A-2, 5, 8, 중앙하부근: B-2, 5, 8)은 미소한 양으로 증가하는 것으로 나타났다. 하절기에는 부가력에서 최대하중에 도달하기 때문에 (-)방향으로 처짐이 증가하고 중앙상부근의 변형률이 증가하게 되며, 동절기에는 정가력에서 최대하중에 도달하기 때문에 (+)방향으로 처짐이 증가하고 중앙하부근의 변형률이 증가하게 된다. 실험체는 모두 가력주기 2~6년 이내에 처짐과 변형률이 크게 증가하고, 이후에는 서서히 증가하였다.

Fig. 13에서 동절기의 경우에는 반복횟수와 상관없이 작용응력에 대하여 전체적으로 실험체의 처짐이 거의 유사한 경향을 보였으나, 하절기의 경우에는 경험한 반복횟수가 적은 Y-10실험체가 오히려 높은 처짐량을 보임을 알 수 있다.

Fig. 14의 철근변형도 분포에 있어서도 가력년수와 상관없이 Y-10 실험체의 상부근이 하절기에 높은 변형도를 보이고 있으며, 동절기에는 Y-20 실험체의 하부근 변

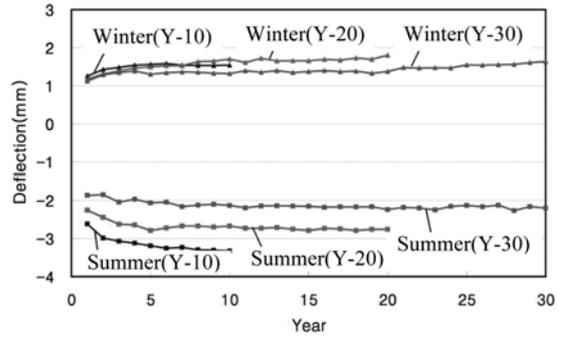
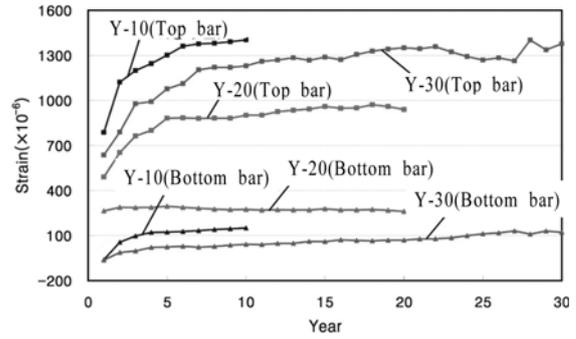
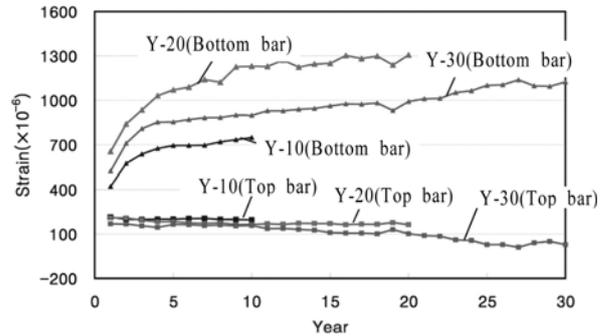


Fig. 13 Variation of maximum deflections



(a) Summer



(b) Winter

Fig. 14 Variation of maximum strain in reinforcements

형도가 높음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 각 실험체가 보유하고 있는 특성에 따른 것으로서, 실험에서 고려한 가력년수와는 무관한 것으로 판단된다. 다만, 가력년수가 증가함에 따라 모든 실험체에서 처짐량과 철근의 변형률이 점점 증가함을 알 수 있으며, 특히 초기 6년 이내에 그 변화폭이 크음을 알 수 있다.

### 5.3 가력기간에 따른 비교·분석

가력기간의 차이에 따른 슬래브의 구조성능변화를 관찰하기 위하여, 중국과괴시까지 하중을 집중시켜 그 거동 특성을 관찰하였으며 Fig. 15는 그때의 하중-변위관계를 나타내며 Table 5는 항복 및 최대하중시의 하중과 변위를 나타낸다.

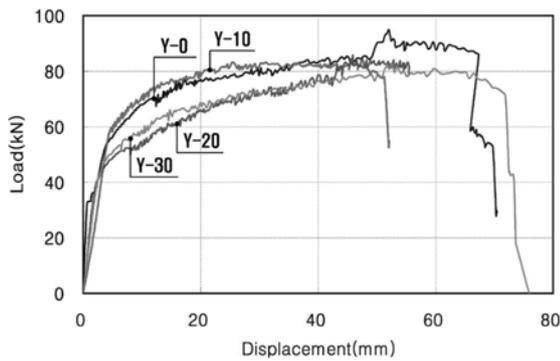


Fig. 15 Load-displacement curve of specimens

Table 5 Structural capacity of specimens

	Y-0	Y-10	Y-20	Y-30
Initial crack	32.0kN	4Cycle (-4.0~37.5kN)	4Cycle (-4.0~37.5kN)	4Cycle (-4.0~37.5kN)
$P_y$ (kN) <sup>1)</sup>	75.50	64.04	68.29	66.00
$\Delta_y$ (mm) <sup>2)</sup>	16.57	6.73	22.91	16.36
$P_u$ (kN) <sup>3)</sup>	94.90	83.32	85.81	82.89
$\Delta_u$ (mm) <sup>4)</sup>	52.04	31.10	45.89	52.52
$\mu$ <sup>5)</sup>	3.14	4.62	2.00	3.21
Ratio	1.00	0.83	2.35	1.82

<sup>1)</sup>  $P_y$  : Yield load, <sup>2)</sup>  $\Delta_y$  : Yield displacement, <sup>3)</sup>  $P_u$  : Maximum load,

<sup>4)</sup>  $\Delta_u$  : Displacement at maximum load, <sup>5)</sup>  $\mu_u$  :  $\Delta_u/\Delta_y$

Fig. 15로부터, 초기 강성은 반복온도하중을 가하지 않은 기준실험체 Y-0이 가장 높은 값을 나타내었고, 이후에는 Y-10, Y-20, Y-30과 비슷하게 진행되었음을 알 수 있다. 이는 반복온도하중을 받지 않은 실험체의 경우 콘크리트에 초기균열이 발생하기 이전에 높은 강성을 나타내고, 이후 콘크리트 표면에 초기균열이 발생한 32kN 이후부터는 다른 실험체와 동일한 강성으로 진전되었기 때문이다. 그리고 철근의 항복강도 범위 내에서 반복온도하중을 받은 경우 반복하중 사이클의 증가에 따른 초기 강성의 영향은 본 실험에서는 나타나지 않았다.

중앙하부 철근항복 이후부터 최대내력까지의 거동에 있어서는 반복온도하중을 많이 경험한 Y-20, Y-30이 Y-0, Y-10에 비해 하중이 증가함에 따라 변위가 급격하게 증가하였다. 예를 들어 각 실험체마다 동일 하중에 있어서 변위를 비교해 보면 수직하중 60kN일 때 기준실험체 Y-0에 대한 Y-10의 변위는 0.83배인데 비하여, Y-20의 경우는 2.35배, Y-30은 1.82배 높게 나타났다.

최대내력에 있어서는 기준실험체 Y-0을 기준으로 Y-10은 13%, Y-20은 10%, Y-30은 13% 낮게 나타나 반복온도하중을 경험한 실험체는 그렇지 않은 기준실험체보다 최대내력이 약 12% 감소하는 것을 알 수 있다. 하지만, 온도하중의 반복시간에 따른 최대내력은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

## 6. 결론

1) 1년, 10년, 20년, 30년과 같이 반복가력기간 변화에 따른 슬래브의 강성변화에서, 여름의 경우에는 10년경과 시 1년에 비하여 강성이 약 30% 정도 감소되고 그 이후에는 큰 변화가 없는 반면 겨울의 경우에는 30년까지 큰 강성변화가 없고 그 이후에서 약 31%(1년과 비교) 저하되는 것으로 나타났다.

2) 철근콘크리트 슬래브는 국내 기상변화에 따른 반복 온도하중의 재하에 의해 반복가력주기 2~6년 이내에 처짐과 변형률이 증가하는 것으로 나타났으며 그 이후에는 처짐이나 변형률의 증가가 미약한 것으로 나타났다.

3) 장기적인 온도변화에 의한 반복응력으로 소정의 손상이 발생한 RC슬래브에 대한 파괴실험을 통하여 외기에 노출된 기간에 따른 슬래브 부재의 보수성능을 평가한 결과, 외기에 노출된 기간의 변화에 따른 슬래브 부재의 초기강성 및 최대내력의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 단, 20년 이상의 반복응력을 받은 경우에는 항복내력이 낮아지는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부 사회기반시설물평가 중점연구단의 연구비 지원(과제번호: 04 핵심기술 C02)과 2009년도 경원대학교 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 대한건축학회, 건축물 하중기준 및 해설, 기문당, 2007.
- 여영진, 일사를 고려한 곡선 강박스커터교의 온도거동에 관한 연구, 연세대학교, 석사학위논문, 2003.
- 이성준, 불균등한 온도응력에 의한 균열로 손상된 콘크리트 구조물의 보수보강에 관한 연구, 단국대학교, 석사학위논문, 2002.
- 장성재, 김동환, 김종수, “넓은 면적의 슬래브를 가진 철근콘크리트조 건물의 온도하중에 대한 구조해석적 평가”, 대한건축학회 학술발표논문집, 제22권 제1호, 2002. 4, pp.107-110.
- 林幸雄他, “温度荷重の簡易豫測法に関する研究(その1, その2)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2005. 9, pp.41-44.
- 石川孝重他, “温度荷重の簡易豫測法に関する研究(その3, その4)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2006. 9, pp.91-94.
- 日本建築学会, 建築物荷重指針・同解説, 2004. 9.
- ACI committee 318, State-of-the-Art Report on Temperature-induced Deflections of Reinforced Concrete Members(ACI 435.7R-85), American Concrete Institute, 1985.
- Elgaaly M., “Thermal Gradients in Beams, Walls, and Slabs”, ACI Structural Journal, Vol. 85, No. 1, 1988. pp.76-81.
- Fernando A. B. and Pedro A. M., “Thermal Action For Concrete Bridge Design”, ASCE Journal of Structural

- 
- Engineering, Vol. 119, No. 8, 1993, pp.2313-2331.
11. Frank J. V. and James A. S., "Thermal Gradient Effects in Reinforced Concrete Frame Structure", ACI Structural Journal, Vol. 87, No. 3, 1990. pp.262-275.
  12. Fu, H. C., Ng, S. F., and Cheung, M. S., "Thermal Behavior of Composite Bridges", ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 116, No. 12, 1990, pp.3302-3323.

(접수일자 : 2009년 7월 15일)  
(심사완료일자 : 2009년 12월 11일)

---

## 요 지

철근콘크리트 지붕 슬래브에 작용하는 온도변화는 여름에는 부재를 팽창시키고 겨울에는 수축시키기 때문에 콘크리트의 응력변화를 야기시키며 이와 같은 거동은 년단위로 반복되어 사용성과 극한상태 모두에 대해서 부재의 구조성능에 영향을 미친다. 본 논문에서는 최근 20년 동안 한국의 기상변화를 분석하여 온도변화의 패턴을 계산하였으며 또한 이와 같이 장기적으로 반복되는 온도변화에 대한 영향을 실험적으로 연구하였다. 6개의 동일한 형태를 가진 철근콘크리트 슬래브를 제작하고 가력주기와 손상유무를 주 변수로 실험을 실시하였다.

실험으로부터, 1년, 10년 20년 동안의 가력기간 변화에 따른 슬래브의 강성변화에서, 여름의 경우에는 10년에서 1년 일 때의 강성과 비교하여 약 30% 정도 감소되고 겨울의 경우에는 30년 이후부터 약 31%(1년과 비교) 저하되는 것으로 나타났다. 또한 이들 손상된 RC슬래브에 대한 파괴실험을 통하여 슬래브 부재의 보유성능을 평가한 결과, 외기에 노출된 기간의 변화에 따른 슬래브 부재의 초기강성 및 최대내력의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 단, 20년 이상의 반복온도하중을 받은 경우에는 항복내력이 낮아지는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

**핵심 용어** : 온도, 철근콘크리트 지붕 슬래브, 구조성능, 반복온도모델, 반복하중, 파괴실험

---