

# 교량 확폭시 콘크리트의 건조수축 및 크리이프의 영향에 관한 실험적 연구 및 해석

## A Computational Analysis and An Experimental Study on the effects of Concrete Shrinkage and Creep in Bridge Widening

장 동 일\*  
Chang, Dong-II

조 병 완\*\*  
Jo, Byung-Wan

홍 성 욱\*\*\*  
Hong, Sung-Wook

---

### Abstract

The widening of bridges under traffic condition brings to many problems. One of these is the internal stresses caused by different creep and shrinkage behavior of the existing bridge and that of the widened Bridge.

This study was conducted to examine the effects of different creep and shrinkage behaviors between concretes. The results are as follows:

Comparing the computational analysis results with the experimental study, it is shown that finite element analysis used in this study was well accorded with experimental results. And considering the shrinkage effects in widened bridges, joining-construction using the expanding concrete between the existing and widened bridge after at least three months from the day of completion of new bridge, is recommended.

---

### 1. 서 론

교량 확폭공사에 있어서 설계, 시공상의 중요한 문제의 하나로서 신설부와 기설부의 건조수축 및 크리이프차에 의한 내부응력 발생이 문제이다. 기설부 교량의 건조수축 및 크리이프가 정지된 상태에서 신설부를 시공하여 접합시킨 경우에는 신설부의 건조수축 및 크리이프가 기설부에 의해서 억제되려 하기 때문에 전체적으로 신설부에는 인장변형이 기설부에는 압축변형이 유발되어 기설부 교량에는 더욱 큰 응력이 발생하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 건조수축 및 크리이프 비교시험을 통하여 다음 표 2.1과 같이 접합 방법(일체치기, 직접접합, 무수축접합), 프리스트레스량(크리이프 시험체에 한하여  $30\text{kg/cm}^2$ ) 및 신, 구콘크리트의 재령차(1개월, 3개월) 등의 여러 시험변수에 따라 시험체를 제작하여 신, 구콘크리트의 변형량을 장기간 측정하므로써 교량 확폭시 발생하는 건조수축 및 크리이프가 신설부와 기설부 교량에 미치는 영향을 조사하였다.

---

\* 한양대학교 토목공학과 교수

\*\* 한양대학교 토목공학과 조교수

\*\*\* 한양대학교 토목공학과 대학원 석사과정 - 163 -

## 2. 시험방법

### 2.1 시험체의 분류

표 2.1 건조수축 및 크리이프 비교시험의 시험변수

시험체 번호	접합방법			프리스트레스량 (kg/cm <sup>2</sup> )		신·구 콘크리트의 재령차 (개월)		시험종류	
	일체 치기	직접 접합	무수축 접합	0	30	1	3	건조수축	크리이프
#1	○			○				○	
#2		○		○		○		○	
#3		○		○			○	○	
#4			○	○		○		○	
#5			○	○			○	○	
#6	○				○				○
#7		○			○	○			○
#8			○		○		○		○

### 2.2 시험체의 제원 및 측정방법

#### 2.2.1 시험체의 제원

건조수축 및 크리이프가 신설부와 기설부 교량에 미치는 영향을 평가하기 위한 건조수축 및 크리이프 비교시험체의 형상, 치수 및 배근도는 다음 그림 2.1과 같다.

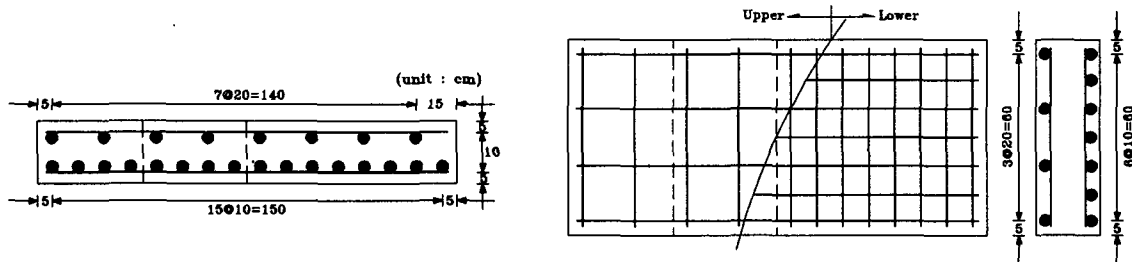


그림 2.1 건조수축 및 크리이프 비교시험체의 형상, 치수 및 배근도

#### 2.3.2 측정방법

건조수축 및 크리이프 변형의 측정방법은 콘크리트 타설 직후 시험체 표면에 콘크리트 길이변화 측정용 Demec Gauge를 부착하여 소정의 간격에 따라 변형률을 측정하였다. 이 때 접합방법에 따른 각 시험체의 Demec Gauge 부착위치는 다음 그림 2.2와 같으며, Demec Gauge 사이의 변형률 측정 고유번호는 그림 2.3과 같다.

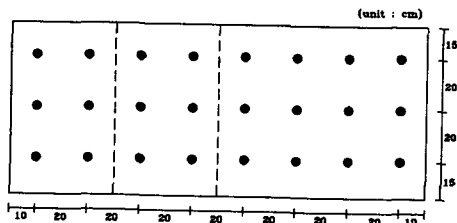


그림 2.2 건조수축 및 크리이프의 변형 측정용 Demec Gauge 부착위치

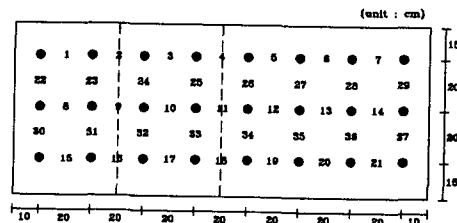


그림 2.3 Demec Gauge 사이의 변형률 측정 고유번호

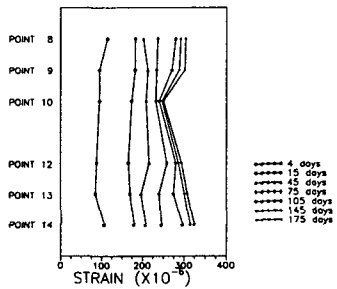
한편, 크리이프 변형 측정용 시험체는 일정한 응력을 장시간 동안 유지시키기 위하여 신콘크리트부에 프리스트레스를 도입하였다. 프리스트레스력은  $30\text{kg/cm}^2$ 로 하였으며, 프리스트레싱은 표준지름 12.7mm의 SWPC 7B 강연선(KS D 7002) 4개를 강연선 1개당 12ton으로 긴장시켜 실시하였다.

프리스트레싱 방법은 포스트텐션 방식을 적용하여 먼저 거푸집을 제작한 후 그 안에 쉬스판을 배치하고 신콘크리트를 타설하여 신콘크리트가 소정의 강도에 달하면 쉬스판 안에 배치된 긴장재의 끝에 잭을 부착하고 긴장기를 사용하여 긴장시키며, 긴장작업이 끝나면 긴장재를 정착장치에 의해 콘크리트 부재에 정착시켰다.

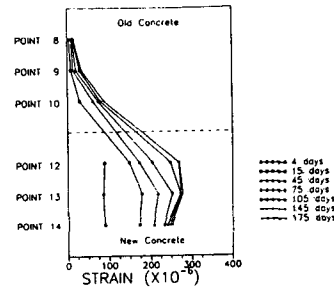
### 3. 실험 결과

#### 3.1 측정치

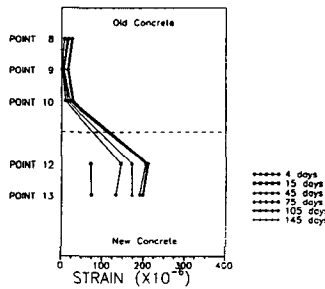
건조수축 및 크리이프 비교시험을 실시하여 얻어진 측정 결과로부터 각 시험체별로 직접접합(시험체 2, 3, 7)의 경우 신콘크리트의 타설일을, 무수축접합(시험체 4, 5, 8)의 경우 무수축콘크리트 타설일을 시점으로 시간에 따른 건조수축 및 크리이프 변형률을 나타내면 다음 그림 3.1과 같다.



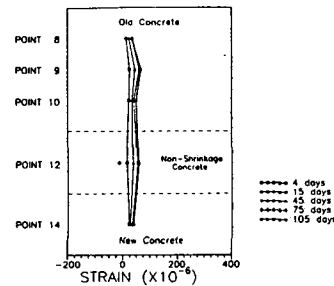
(a) 시험체 1 (일체치기)



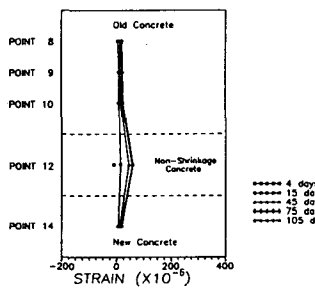
(b) 시험체 2 (직접접합, 재령차 1개월)



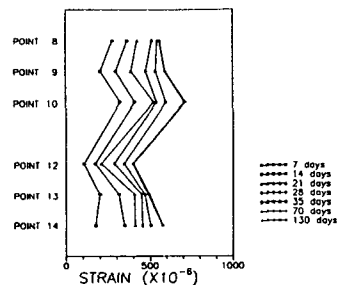
(c) 시험체 3 (직접접합, 재령차 3개월)



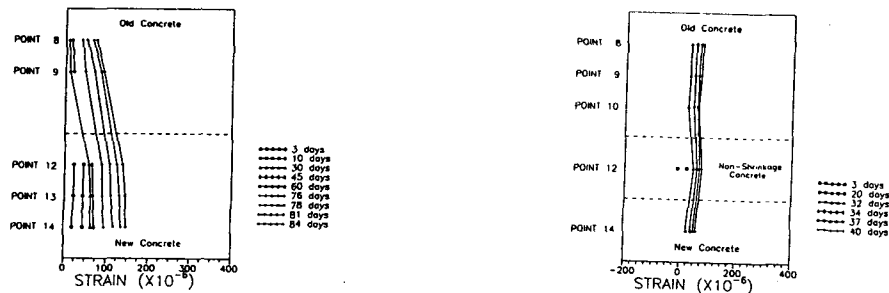
(d) 시험체 4 (무수축접합, 재령차 1개월)



(e) 시험체 5 (무수축접합, 재령차 3개월)



(f) 시험체 6 (일체치기)



(g) 시험체 7 (직접접합, 재령차 3개월)      (h) 시험체 8 (무수축접합, 재령차 3개월)  
 그림 3.1 변형률의 시간에 따른 변화

그림 3.1(a)에서 일체치기 시험체(시험체 1)의 건조수축 변형률은 축점에 따라서 다소의 차이는 나타나나 거의 일정하게 증가함을 알 수 있으며, 재령 3개월까지는 급격히 증가하다가 그 이후에는 증가율이 크게 감소함을 알 수 있고, 재령 175일에서의 변형률은 약  $350 \times 10^{-6}$  정도로 나타났다.

신, 구콘크리트의 재령차가 각각 1개월 및 3개월인 직접접합 시험체의 신콘크리트 타설일로부터의 건조수축 변형률을 나타낸 그림 3.1(b)와 3.1(c)에서 재령차가 1개월인 시험체 2의 구콘크리트의 변형률이 재령차 3개월인 시험체 3에 비해 적음을 알 수 있으며, 신콘크리트의 변형률도 재령차 3개월인 경우가 일체치기 및 재령차 1개월인 시험체에 비해 적게 나타나고 있어 신콘크리트의 건조수축이 구콘크리트에 의해 억제되며, 구콘크리트와의 재령차 클수록 구속력이 커지는 것으로 사료된다.

한편 무수축접합의 경우를 나타낸 그림 3.1(d)와 3.1(e)에서 무수축콘크리트의 경우 타설 후 약 10일간은 인장변형을 나타내다가 그후 압축변형을 일으킨을 알 수 있으며, 무수축콘크리트의 건조수축이 신, 구콘크리트에 의해 억제되어 타설초기에는 건조수축 변형률이 보통콘크리트의 약 25 ~ 30% 정도인 것으로 나타나고 있어 구콘크리트나 신콘크리트에 미치는 영향이 보통콘크리트를 사용한 직접접합에 비해 크게 줄어들음을 알 수 있다. 또한 재령차 3개월인 시험체 5의 경우 신, 구콘크리트 건조수축 변형률의 증가가 재령차 1개월인 시험체 3에 비해 크게 줄어들음을 알 수 있다. 그리고, 그림 3.1(f)의 시험체 6은 크리이프 측정용 일체치기 시험체로 콘크리트 타설 20일 후에 프리스트레싱을 실시하고 이때를 시점으로 크리이프 변형률을 측정 한 것이다. 이로부터 크리이프 변형률은 프리스트레스 도입 후 약 70일까지는 급격히 증가하다가 그 이후로는 수축량이 크게 줄어들음을 알 수 있다.

신, 구콘크리트의 재령차가 1개월로 신콘크리트 타설 후 75일 후에 프리스트레싱을 도입한 직접접합 시험체 7의 크리이프 변형률을 신콘크리트 타설일을 시점으로 나타낸 그림 3.1(g)로부터 프리스트레싱 도입 전에는 신, 구콘크리트의 재령차에 의해서 구콘크리트의 변형이 신콘크리트에 비해 적음을 알 수 있으나, 프리스트레싱 후에는 신, 구콘크리트의 변형률의 증가폭이 거의 같음을 알 수 있어 신, 구콘크리트의 부착이 완전히 이루어져 일체화되었음을 알 수 있다.

한편 그림 3.1(h)는 신, 구콘크리트를 동시에 타설한 후 3개월 후에 무수축콘크리트를 타설하고 이를 시점으로 변형률을 나타낸 것으로 무수축콘크리트 타설 후 1개월 후에 프리스트레싱을 실시하였다. 이로부터 크리이프 변형률의 증가는 각 접합부에서 거의 일정하게 증가하는 것으로 나타나 신, 구콘크리트와 무수축콘크리트의 부착은 무수축콘크리트 타설 1개월 후에는 완전히 이루어지는 것으로 사료된다.

### 3.2 시공방법에 따른 영향

시공방법(일체치기, 직접접합, 무수축접합)의 차이에 따른 건조수축 변형률을 비교, 분석하기 위하여 신, 구콘크리트의 재령차가 1개월인 시험체 2(직접접합)와 시험체 4(무수축접합)의 접합면 부근의 구콘크리트의 축점 3, 10, 17, 25, 33에 대한 시간에 따른 변형률을 신콘크리트

또는 무수축콘크리트 타설일을 시점으로 하여 정리하면 다음 표 3.1과 같다. 또한 신, 구콘크리트의 재령차가 3개월인 건조수축 시험체 3(직접접합)과 시험체 5(무수축접합)의 접합방법의 차이에 따른 접합면 부근의 구콘크리트의 변형률을 신콘크리트 또는 무수축콘크리트 타설일을 시점으로 비교하기 위하여 측정 3, 10, 17, 25, 33에 대한 건조수축 변형률을 정리한 결과는 다음 표 3.2와 같다.

표 3.1 구콘크리트의 건조수축 변형률 (재령차 1개월)

측 정	시험체 번호	시 간 (일)					
		0	15	45	75	105	145
3	2	0	24	41	50	57	61
	4	0	22	32	34	48	53
10	2	0	30	62	75	81	89
	4	0	22	34	40	50	74
17	2	0	19	28	36	42	48
	4	0	20	28	37	43	47
25	2	0	27	44	47	54	56
	4	0	30	49	52	59	63
33	2	0	38	49	58	64	68
	4	0	25	44	60	66	68

표 3.2 구콘크리트의 건조수축 변형률 (재령차 3개월) (단위 :  $\times 10^{-6}$ )

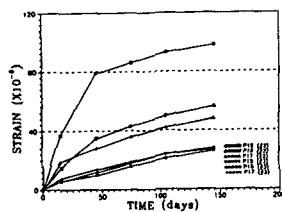
측 정	시험체 번호	시 간 (일)				
		0	15	45	75	105
3	3	0	7	14	19	23
	5	0	7	12	17	20
10	3	0	10	16	21	25
	5	0	8	14	20	24
17	3	0	8	14	19	24
	5	0	8	14	18	22
25	3	0	8	12	20	25
	5	0	8	11	19	26
33	3	0	9	16	20	25
	5	0	6	12	18	22

표 3.1로부터 접합방법에 따른 구콘크리트의 건조수축 변형률의 차이는 크게 나타나지 않았으나, 대체로 무수축접합 시험체가 직접접합 시험체에 비해 적게 나타났으며, 재령 145일에서 평균  $10 \times 10^{-6}$  정도 낮은 변형률을 나타내고 있다. 한편, 표 3.2로부터 재령차 3개월인 경우도 재령차 1개월인 경우와 마찬가지로 무수축접합 시험체가 직접접합 시험체보다 다소 작은 건조수축 변형률을 나타내고 있어 접합부 부근의 구콘크리트의 변형률은 무수축접합을 실시한 경우 무수축콘크리트의 초기팽창에 이끌려 보통콘크리트를 사용한 직접접합에 비해 작다고 사료된다.

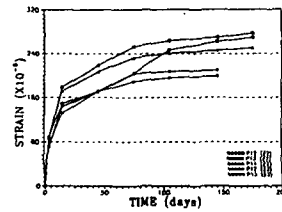
### 3.3 접합방법에 따른 영향

#### 3.3.1 직접접합

건조수축 및 크리이프 비교시험을 실시하여 재령차에 따른 신, 구콘크리트의 변형률의 차이를 알아보기 위해 재령차 1개월 및 3개월의 직접접합 시험체 2번과 3번의 신콘크리트 타설일을 시점으로 한 구콘크리트(측점 15, 16, 17) 및 신콘크리트(측점 12, 13, 14)의 건조수축 변형률을 나타내면 다음 그림 3.2와 같다.



(a) 구콘크리트의 건조수축 변형률



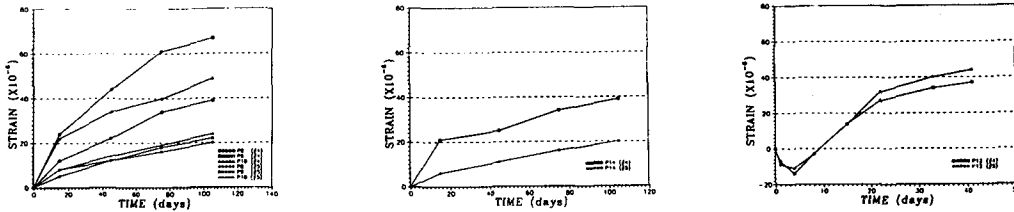
(b) 신콘크리트의 건조수축 변형률

그림 3.2 신, 구콘크리트의 재령차에 따른 건조수축 변형률 (직접접합)

그림 3.2(a)에서 신, 구콘크리트의 재령차가 3개월인 시험체 3의 구콘크리트의 건조수축 변형률이 재령차 1개월인 시험체 2에 비해 현저히 적음을 알 수 있어 건조수축량은 타설 후 초기 3개월간은 급격히 증가하다 그 후 점차 줄어들음을 알 수 있다. 또한 그림 3.2(b)의 신콘크리트의 건조수축 변형률도 재령차 3개월인 경우가 1개월에 비해 적게 나타남을 알 수 있어 구콘크리트의 재령이 클수록 신콘크리트의 건조수축을 억제하려는 경향이 큼을 알 수 있다.

### 3.3.2 무수축 접합

무수축 접합의 경우 무수축 콘크리트 타설일을 기준으로 한 신, 구, 무수축 콘크리트의 변형률은 다음 그림 3.3과 같으며, 여기서 구콘크리트와 신콘크리트는 동시에 타설하였으며, 무수축콘크리트 타설 재령차가 시험체 4의 경우 1개월, 시험체 5의 경우 3개월이다.



(a) 구콘크리트의 건조수축 변형률      (b) 신콘크리트의 건조수축 변형률      (c) 무수축콘크리트의 건조수축 변형률  
 그림 3.3 무수축콘크리트의 재령차에 따른 건조수축 변형률 (무수축 적합)

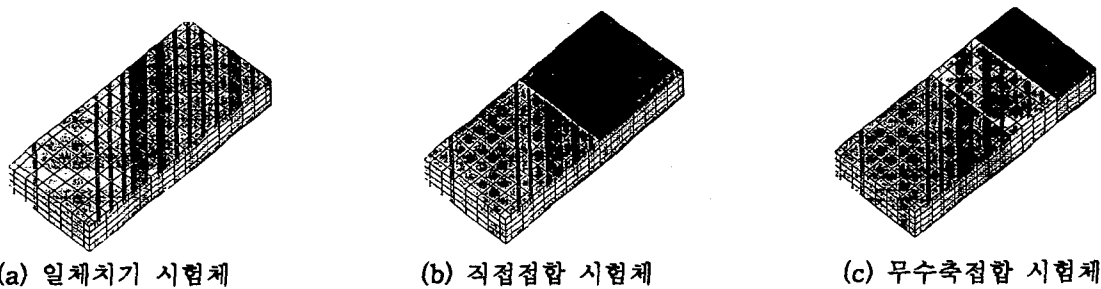
그림 3.3(a)와 3.3(b)에서 구콘크리트와 신콘크리트의 변형률은 직접접합의 경우와 마찬가지로 재령차가 클수록 감소함을 알 수 있으며, 그림 3.3(c)의 무수축콘크리트의 경우 타설 초기에는 팽창하여 인장변형을 일으키다가 타설 후 약 10일 정도가 경과하면 수축하여 압축변형을 일으킴을 알 수 있다.

따라서 신, 구콘크리트의 재령차에 따른 영향을 살펴본 결과 신콘크리트를 타설한 후 3개월 이상 방치한 후에 중간에 무수축콘크리트를 타설하여 접합하는 것이 구콘크리트에 미치는 건조수축 영향이 가장 적은 것으로 사료된다.

## 4. 구조해석

### 4.1 유한요소 모델 및 경계조건

본 건조수축 비교시험의 타당성을 확인하고 이를 검증하기 위해 실시된 구조해석은 3-D 요소로 시험체를 모델링하여 범용 구조해석 프로그램인 SUPER SAP(ALGOR)에 의해 수행되었다. 이 때, 각 접합방법별 시험체의 유한요소 모델링은 다음 그림 3.5와 같다.

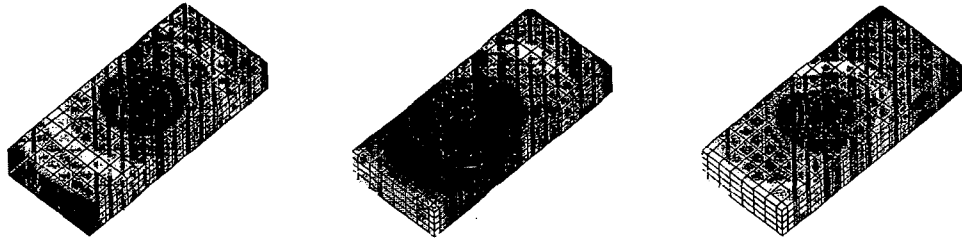


(a) 일체치기 시험체      (b) 직접접합 시험체      (c) 무수축접합 시험체  
 그림 3.5 접합방법별 시험체의 유한요소 모델링

### 4.2 구조해석 결과

ALGOR에 의한 구조해석 결과 얻어진 각 접합방법별 시험체의 건조수축 해석치중에서 대표적으로 재령 15일에서의 해석치를 나타내면 다음 그림 3.6과 같다.

여기서, 직접접합 및 무수축접합 시험체의 경우 각각 신콘크리트 및 무수축콘크리트 타설 후 15일째의 건조수축 해석치를 나타낸 것이다.

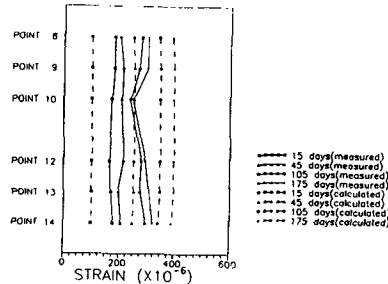


(a) 일체치기 시험체      (b) 직접접합 시험체      (c) 무수축접합 시험체  
(재령차 3개월)      (재령차 3개월)

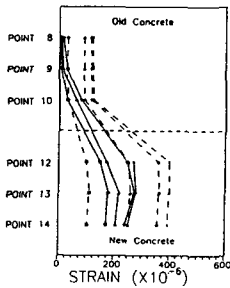
그림 3.6 접합방법별 시험체의 건조수축 해석치

### 5. 해석치와 측정치의 비교, 고찰

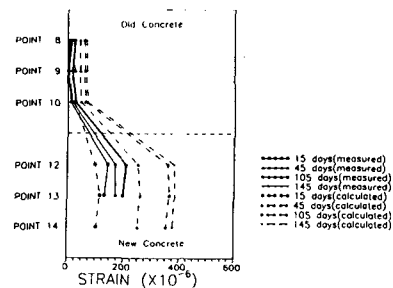
ALGOR을 이용하여 건조수축 비교 시험체에 대한 구조해석을 실시한 후, 이를 접합방법 및 신, 구콘크리트의 재령차에 따른 각 시험체별로 측정치와 비교한 결과는 다음 그림 3.7과 같다.



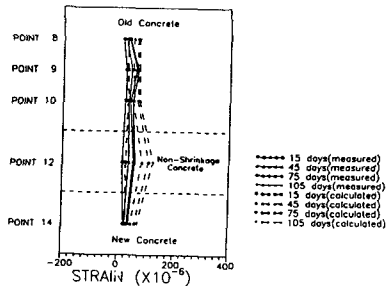
(a) 시험체 1 (일체치기)



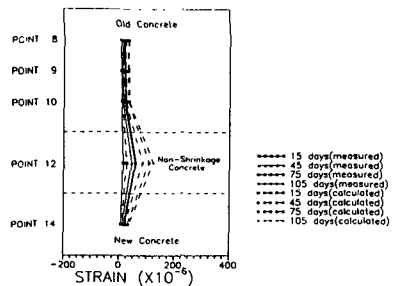
(b) 시험체 2 (직접접합, 재령차 1개월)



(c) 시험체 3 (직접접합, 재령차 3개월)



(d) 시험체 4 (무수축접합, 재령차 1개월)



(e) 시험체 5 (무수축접합, 재령차 3개월)

그림 3.7 측정치와 해석치의 비교

일체치기 시험체에 대한 건조수축 변형률의 측정치와 해석치를 비교한 그림 3.7(a)를 살펴 보면 재령초기에는 해석치가 측정치보다 작게 나타나나 재령이 증가할수록 해석치가 측정치보다 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 한편 직접접합 시험체의 경우를 비교한 그림 3.7(b)와 3.7(c)에서도 일체치기 시험체와 마찬가지로 재령이 증가할수록 해석치가 측정치보다 크게 나타나며, 재령 1개월인 경우보다 재령 3개월에서의 차가 더 크게 나타남을 알 수 있다. 무수축 접합 시험체의 경우도 일체치기 및 직접접합 시험체와 같이 해석치가 측정치보다 다소 크게 나타나나, 대체로 경향이 일치함을 알 수 있다.

## 6. 결 론

- 1) 기설부 교량에 신설부 교량을 직접 이어 붙이는 시공방법인 직접접합의 경우 신콘크리트의 건조수축이 구콘크리트에 의해서 억제되려 하기 때문에 기설부에 압축응력을 유발하여 악영향을 미침을 알 수 있었다.
- 2) 기설부 교량과 신설부 교량 사이에 무수축콘크리트를 타설하여 접합시키는 무수축접합이 보통콘크리트를 사용한 직접접합 보다 무수축콘크리트의 초기팽창에 이끌려 초기 건조수축량이 보통콘크리트에 비해 적게 나타나고 있어 기설부 교량에 미치는 영향이 적음을 알 수 있었다.
- 3) 신, 구콘크리트의 재령차에 따른 영향을 살펴본 결과 신콘크리트 타설후 약 3개월간의 방치기간을 둔후에 기설부와 신설부 교량의 중간에 무수축콘크리트를 타설하여 접합하는 것이 1개월 후에 접합하는 것과 비교하여 신, 구콘크리트에 미치는 건조수축 영향이 적은 것으로 나타나, 교량 확폭시 신설부 교량을 3개월 이상 방치한 후에 무수축콘크리트를 타설하여 접합시키는 것이 기설부 및 신설부 교량에 미치는 영향이 가장 적은 방법임을 알 수 있었다.
- 4) SUPER SAP(ALGOR) 프로그램에 의한 건조수축 해석결과, 재령이 증가할수록 해석치가 측정치보다 다소 큰 경향을 나타내고 있으나, 대체로 접합방법별로 그 경향이 일치하고 있음을 알 수 있었다.

## 7. 참 고 문 헌

1. 藤田信一, 角昌陸, 高橋幸三 : 橋梁擴幅時の打繼目に關する試験, 試験所報告(昭和 55年度), 日本道路公團試験所, 1981年 11月.
2. 藤田信一, 角昌陸 : 橋梁擴幅時の打繼目に關する試験 (第 2 報), 試験所報告(昭和 56年度), 日本道路公團試験所, 1982年 11月.
3. 鮎田耕一, 林 正道 : 乾燥に伴うコンクリート露出面の強度性狀に關する實驗的研究, 土木學會論文報告集, 第 338 號, 1983年 10月.
4. 林 正道, 鮎田耕一, 長山裕一 : 乾濕に伴うコンクリート露出面の強度の強度變化, 土木學會北海道支部論文報告集, 第 37 號, 1981年.
5. 林 正道, 鮎田耕一, 猪狩平三郎 : 乾濕に伴うコンクリート露出面の水和度の強度變化, 土木學會北海道支部論文報告集, 第 37 號, 1981年.
6. Calson, R. W. : Drying shrinkage of large concrete members, Journal of ACI, Jan. ~ Feb., 1937.
7. Pickett, G., : Effect of aggregate on shrinkage of concrete and a hypothesis concerning shrinkage, Journal of ACI, Vol. 27, No. 5, Jan. 1956, pp.581 ~ pp.590.
8. Pihlajavaara, S. E., : Estimation of drying of concrete at different relative humidities and temperatures of ambient air with special discussion about fundamental features of drying and shrinkage, Creep and Shrinkage in Concrete Structures, editor Bazant Z. P. and Wittmann, F. H. John Wiley & Sons Ltd, 1982, pp.87 ~ pp.107.