

## 콘크리트 보의 거동 측정을 위한 조합형 센서의 활용

김연태 <sup>1)\*</sup> · 김상철 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 서울산업대학교 구조공학과 <sup>2)</sup> 한서대학교 토목공학과

(2003년 2월 14일 원고접수, 2003년 5월 31일 심사완료)

### Application of Combined-Type Sensors for the Behavioral Measurement of Concrete Beams

Yun-Tae Kim <sup>1)\*</sup> and Sang-Chel Kim <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Structural Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul, 139-743, Korea

<sup>2)</sup> Dept. of Civil Engineering, Hanseo University, Seosan, 356-706, Korea

(Received February 14, 2003, Accepted May 31, 2003)

#### ABSTRACT

This study addressed a procedure to carry out an experimental study on a behavior of simple and continuous concrete beams. For this purpose, sample concrete beams were fabricated and sensors for the measurement of strains and deflections were attached both on the surface of the beams and inside them. Two types of sensors were used to measure strains associated with loading: electric resistance strain sensors and fiber optic sensors. Displacement gauges were also attached on the bottoms of beams to investigate the behavior of beams more rationally. The behavior of the beams was then evaluated throughout the results measured from different sensors while they were subject to steady loading up to failure.

From results of this study, it was found that concurrent use of sensors and displacement gauges is helpful in investigating the behavior of concrete beams more effectively. Especially, combined-type strain sensors specifically fabricated in this experiment were found not to be affected by the occurrence of cracks so significantly and to be very effective in monitoring strains of concrete structure. It was also observed that beams show nonlinear force-displacement relationship and reinforcing bars take charge of resisting the external force once cracks occur in concrete beams.

**Keywords :** strain sensor, displacement gauge, combined-type strain sensors

#### 1. 서 론

최근 들어 구조물의 노후화와 유지·관리의 부실로 인하여 잇따른 붕괴사고가 발생하였고, 이로 말미암아 구조물의 정기적인 유지관리에 대한 필요성이 부각되면서 공용중이거나 신설되는 구조물의 상태를 평가하기 위한 여러 진단방법들이 출현하게 되었다. 그 방법 중에서도 장기적인 안목에서는 구조물의 사용성과 건전성을 지속적으로 관측할 수 있는 모니터링 시스템의 도입이 필요하다는 것이 일반적인 인식이며 대형구조물의 경우 이 방법의 도입이 점차 확대되어 가고 있는 추세이다. 이 시스템에서는 구조물의 변형률, 변위(처짐), 진동, 온도 등의 측정이 요구되며 이중 가장 필수적인 계측항목은 변위와 변형률을 들 수 있을 것이다.

그러나 콘크리트는 이미 알려져 있는 바와 같이 압축에 대해서는 상당히 강한 반면 인장에 대해서는 저항력이 약하여 보의 경우 압축강도의 1/5~1/7 정도의 인장응력을 받아도 쉽게 균열이 발생하게 되고 특히, 콘크리트는 수화 반응을 통한 열경화적인 재료적 특성을 감안한다면 콘크리트 구조물에서 균열의 발생을 피하기란 현재까지 불가능에 가깝다고 해도 과언은 아닐 것이다. 일단 균열이 발생하면 변형률이나 변위의 양상이 달라지며, 철근콘크리트 구조물에서는 균열의 진행과 크기에 따라 철근과 콘크리트간의 하중부담률이 달라지기 때문에 구조물의 건전성을 평가하거나 적절한 보수시기를 판단하기 위해서는 구조물의 효율적인 변위나 변형률의 계측이 필요하게 된다.

이를 위해서는 대상 구조물의 내부 철근에 게이지를 부착하는 경우가 균열발생에 관계없이 비교적 정확한 계측을 할 수 있는 방법이라 할 수 있을 것이다. 측정센서로서 과거에는 주로 전기저항식 변형률게이지가 사용되었으

\* Corresponding author

Tel : 02-970-6583 Fax : 02-974-6145

E-mail : kyt4045@snut.ac.kr

Table 1 Major equipments used in this experiment

Items	Model and size	Company	Application
Data logger for static measurement	TDS303	Tokyo Sokki Kenkyujo Co. LTD	Measurement for strains and deflections in electric resistance gauge and displacement gauge
Switching box	SSW50C		
Electric resistance strain gauge	FLA-5-11-5L		Embedded in concrete
	PL-60-11-5L		Attached on the concrete surface
Displacement gauge	CDP-100 SDP-200D		Measurement of deflection by attaching on concrete surface
Magnetic base	MB-B	Kanetec Co.Ltd	Installation of displacement gauge
Fiber optic sensor	FOS-N FOS-B	FISO & Bi-Tech Korea	Fabry-Peroc fiber optic sensor
Data logger	DMI SYSTEM	FISO	Measurement of fiber optic sensor
Actuator	500kN	MTS	Loading
Actuator	1,000kN	MTS	Loading

나 이는 구조물의 국부적인 계측만 가능하므로 이 단점을 보완하여 최근에는 구조물의 전체적인 거동을 파악할 수 있는 광섬유를 활용한 센서가 등장하였고 그 효율성에 대해 많은 연구가 있었다<sup>1-11)</sup>. 특히, 광섬유센서는 광섬유 자체의 물리적 변화를 기초로 하여 센서에 가해진 물리량을 측정하기 때문에 기존 게이지의 한 가지 용도만을 목적으로 사용되는 것과는 달리 변형률과 온도 등 다양한 물리적 측정을 동시에 할 수 있고 단일 광섬유를 이용하여 여러 부위에서의 측정이 가능하며, 전자기 간섭이나 온도와 같은 외부의 영향이 작아 그 활용도가 점차 확대되어 가고 있다. 그러나 이들 게이지들은 구조물을 축조하기 이전에 미리 매설되어야 효과적이며 시공이 이미 완료된 구조물에 적용하였을 때에는 균열발생 등의 불확실한 인자가 존재하므로 그 결과에 대해 신뢰하기 곤란한 문제점이 있다. 따라서 기 축조된 콘크리트 구조물에서도 안전성을 장기적으로 모니터링하기 위해서는 보다 효율적으로 변형률이나 변위를 측정할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 철근콘크리트 보 시편을 대상으로 일반 전기저항식 변형률게이지와 광섬유센서를 이용하여 표면에 부착한 경우와 내부 철근에 부착한 경우에 대해 변형률과 치짐값, 하중단계별 균열의 발생양상을 통해 보의 거동을 비교하였다. 전기저항식은 이미 알려져 있지만 광섬유센서의 경우는 건설에 도입된 지 오래되지 않았기 때문에 균열이 발생하였을 때 표면 부착식의 문제점이나 적정성의 여부를 정량적으로 파악하고자 하였다. 또한, 이들 게이지가 콘크리트에 균열이 발생한 후에는 보의 변형률이 균열 때문에 정확하게 측정되지 않는 점을 고려하여 고안한 조합형 센서를 본 연구에 적용, 비교함으로써 그 효과를 평가하고자 하였다.

## 2. 실험장비 및 방법

### 2.1 실험장비

본 연구에서 사용된 계측센서는 페브리-페롯 EFP방식의 광섬유센서, 전기저항식 변형률게이지, 변위계 등이며, 데이터로거는 광섬유센서용 DMI 시스템과 전기저항식 센서 및 변위계용으로는 TDS 303을 사용하였다. 본 실험에 사용된 주요장비 및 센서를 나타내면 Table 1과 같다.

### 2.2 시편 제작 및 센서의 부착

본 실험의 수행을 위하여 설계기준강도 240 kgf/cm<sup>2</sup>, 슬럼프값 10 cm, 공기량 4.5%의 단순보와 연속보 유형의 콘크리트 시편을 제작하였으며, 항복강도가 4,000 kgf/cm<sup>2</sup>인 철근을 사용하였다. 시편은 Figs. 1, 2에 도시한 바와 같이 총 길이가 6m, 폭과 높이가 각각 35 cm, 50 cm인 단순보와 총 길이 7m(순지간 6m), 폭과 높이가 각각 35 cm, 45 cm의 연속보로 나누어 제작하였다. 보의 내부에 단순보의 경우는 D29철근을 보의 상하부에 각각 2개와 3개씩 배근하였으며, 전단철근으로는 D16철근을 지점부 위치에서는 20 cm, 중앙부에서는 40 cm간격으로 배치하였다. 연속보에서는 D25철근을 3개씩 동일하게 배근하였으며, 전단철근으로는 D16 철근을 전 구간에 동일하게 40 cm 간격으로 배치하였다.

계측센서는 시험체 내부의 인장철근 표면과 시험체 상하 표면에 Figs. 1과 2와 같이 전기저항식 변형률게이지, 광섬유센서, 변위계를 부착, 설치하였다. 특히, 연속보에서는 균열 후의 변형률을 측정하기 위하여 고안한 조합형 전기저항식 및 광섬유센서를 추가로 부착하였다.

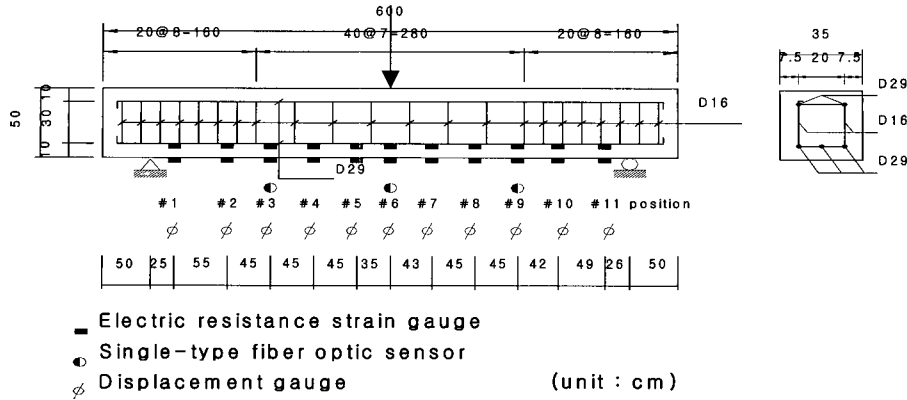


Fig. 1 Specimen for simple beam test

고, 5점 지지(하중재하 2점, 지지점 3점)방식을 사용한 것을 제외하고는 단순보와 동일하게 하였다. 가력방법은 5

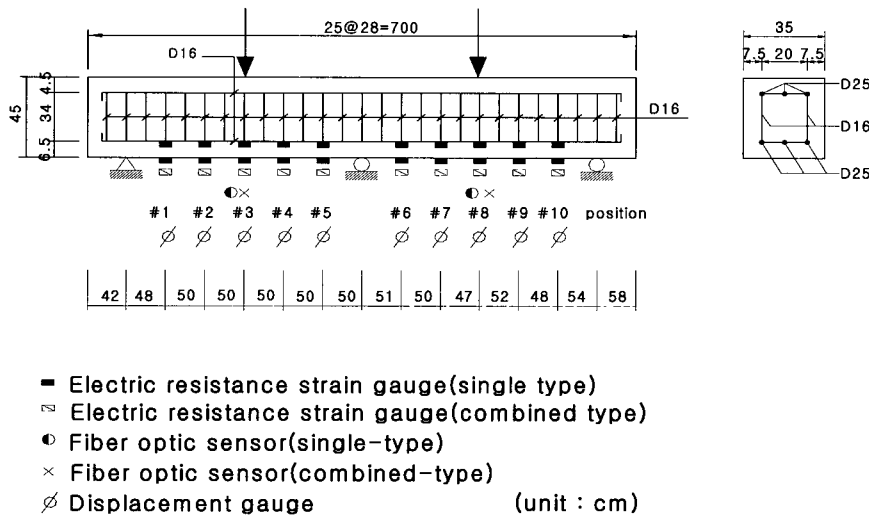


Fig. 2 Specimen for continuous beam test

### 2.3 실험방법

단순보는 3점 휨재하 방식에 따라 500 kN 용량의 액츄에이터를 사용하여 철근이 항복하기 전까지는 하중조절방식을 적용하였고, 철근이 항복한 이후에는 변위조절방식에 따라 하중을 정적으로 점증시키면서 거동을 조사하였다. 거동조사는 시편 내부 철근에 부착한 전기저항식 변형률계이지와 외부의 동일 위치의 콘크리트 표면에 부착한 광섬유센서 및 전기저항식 변형률센서를 통해 변형률을 측정하였고, 보의 하단에 설치한 변위계를 사용하여 처짐값을 측정하였다. 또한, 각 하중단계별로 발생된 균열과 그 진전양상은 균열도(crack pattern diagram)로 도시하였다. 가력방법은 10 kN에서 100 kN까지 5 kN씩 증가시키면서 재하(loading), 재하(unloading)를 각 3회씩 반복 실시하였으며, 100 kN 이후에는 10 kN씩 증가시키며 같은 방법으로 실험을 진행하였다.

연속보에서는 500 kN 용량의 액츄에이터 2대를 사용하

고, 5점 지지(하중재하 2점, 지지점 3점)방식을 사용한 것을 제외하고는 단순보와 동일하게 하였다. 가력방법은 5 kN에서 50 kN까지 5 kN씩 증가시키면서 재하, 재하를 각 1회씩 실시하였으며, 균열이 발생된 이후에는 10 kN씩 증가시키며 실험을 진행하였다.

### 3. 단순보의 거동특성

Fig. 1의 단순보 시편에 3점 휨재하 방식으로 하중을 가하기 시작하여 점점 증가시켰을 때 균열은 약 50 kN의 하중 재하 시 육안으로 처음 발견되었으며, 그 위치는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 예상대로 단면력이 가장 크게 작용하는 보의 중앙에서 발생하였다. 하중 증가에 따른 변형률과 처짐량의 크기는 보 중앙과 보 우측 중앙부로

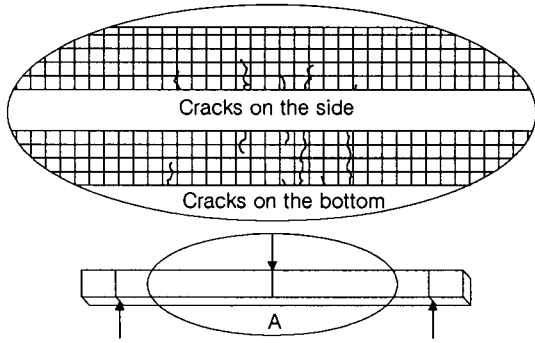


Fig. 3 Crack patterns of specimen at loading 50kN (simple beam)

에 따라 인장부 콘크리트의 하중저항능력이 균열발생과 함께 소멸되고 철근으로 옮겨가는 변화추이현상을 알아보기 위하여 작도하였다. 먼저 보 중앙의 경우에 해당되는 Fig. 4에 따르면, 약 30 kN까지는 철근과 콘크리트의 변형률이 거의 같은 값을 가지며 진행하다가 그 이후부터는 철근의 변형률이 급하게 증가하기 시작하는 점에 비추어 이 하중단계에서 이미 내·외부에서 균열이 발생하기 시작했을 것으로 추정된다. 이후에 철근의 변형률은 가파르게 증가하는 반면, 콘크리트는 균열발생으로 인하여 변형률의 변화가 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 즉, 균열 발생 후에는 콘크리트의 하중저항능력이 거의 상실됨을 알 수 있다.

이 현상은 Fig. 5의 우측 중앙부(9번점)에 대한 분석결과를 통해서도 확인될 수 있다. 그림 상에 나타난 바와 같이 하중이 60 kN 정도 도달할 때까지는 철근과 콘크리트가 거의 같은 변형률을 보이고 있는 점에 비추어 콘크리트와 철근이 공동으로 외력에 저항하고 있음이 유추될 수 있다. 그러나 이 후에는 철근의 변형률이 이 하중단계를 시점으로 급하게 증가하고 있는데, 이는 보 중앙에서와 마찬가지로 철근이 콘크리트의 부담분까지 떠맡게 됨에 따라 생긴 현상으로 추정된다.

처짐을 통한 보의 거동을 확인하기 위하여 보 중앙(6번점)에서의 하중단계별 처짐값을 Fig. 6에 나타내었고, 이 그림을 토대로 Fig. 7과 같이 각 단계별 처짐기울기를 구하였다. 처짐기울기는 5 kN씩 하중을 나눠 각 하중단계별로 처짐량의 변화를 하중증가분(5 kN)으로 나누어 얻은 것인데, 이 그림을 통해 처짐량이 하중의 증가에 따라 어떻게 변화되고 있는지 확인이 가능하게 된다. Figs. 6 과 7에 따르면, 하중 20 kN까지는 처짐이 하중에 비례하여 증가하고 있으나 이 후에는 처짐이 점차 빠르게 증가되는 것을 알 수 있다.

따라서 변형률에 대한 결과와 같이 놓고 판단하여 볼 때, 보는 약 30 kN 근처의 하중재하 시부터 콘크리트의 균열발생으로 인하여 철근이 외력을 전적으로 부담하기 시

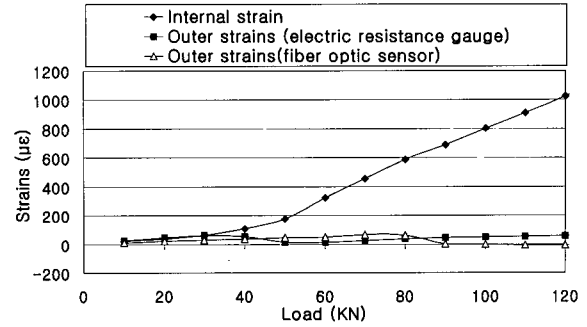


Fig. 4 Relationship between loads and strains (center of the simple beam)

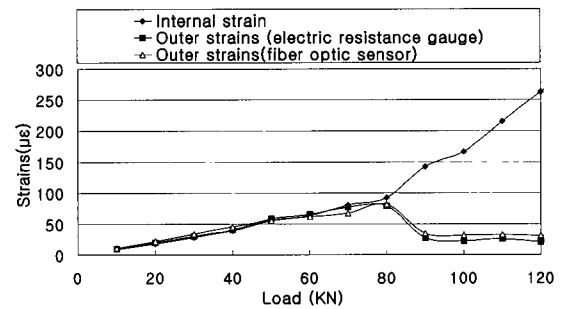


Fig. 5 Relationship between loads and strains (center of right hand part in a simple beam)

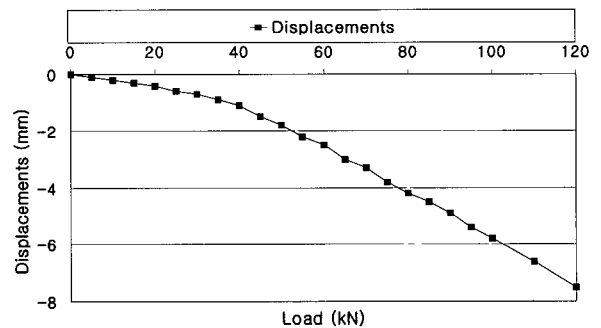


Fig. 6 Relationship between loads and deflections (center of the simple beam)

작하며, 보의 강성저하로 인하여 보의 변형이 급하게 증가 되는 것으로 분석된다. Figs. 8과 9는 보의 우측구간 중앙부에 대한 하중단계별 처짐값 및 이로부터 얻은 처짐기울기를 도시한 것이다. 이 그림에 따르면 약 40 kN의 하중재하 단계부터 처짐 폭이 증가되는 것을 알 수 있다. 따라서 변형률에 대한 결과와 같이 놓고 판단할 때, 보의 우측중앙부는 약 40 kN의 하중재하 단계부터 균열이 발생하기 시작하여 철근의 하중부담이 증가되고, 처짐은 비선형적으로 가속화되는 것을 알 수 있다.

이 후의 보의 균열진전은 앞에서 기술된 대로 약 50 kN의 하중재하에서 미세균열이 발견되었고, 하중증가와 함께

보의 중앙단면으로 진행하여 70kN의 하중재하에서는 단면중앙부까지 진행되었다. 이 때부터는 균열이 단면중앙부를 지나 상부로 진행하게 되는데, 예상대로 균열이 하중재하점 방향으로 모이면서 파괴로 접근하는 현상을 보였다. Fig. 10은 보의 최종 하중재하 시의 균열도를 나타낸 것이다.

이상의 균열양상, 변형률, 처짐값을 상호 비교 분석한 결과, 다소 약간의 차이는 있으나 대체로 균열이 발생한 후에는 철근이 주로 외력에 저항케 되고, 아울러 보의 강성이 저하됨에 따라 보의 처짐이 지속적으로 증가되는 비선형 거동을 함을 알 수 있다.

한편, Figs. 4 및 5로부터 콘크리트 표면에 직접 부착한 센서로부터의 변형률 값은 콘크리트에 균열이 발생한 이후에는 그 값이 일정선을 넘지 못하는 단계에 머물러 있음을 확인할 수 있다. 이는 센서를 콘크리트 표면에 직접 부착하는 경우에는 광섬유센서나 전기저항식 센서 모두 재료의 변형률이 센서주위에서 균열이 발생할 때마다 변형이 이완되기 때문에 나타난 현상으로 판단할 수 있다. 즉, 균열발생 후의 콘크리트 표면에서 얻은 변형률은 외력과 보의 강성간의 관계로부터 결정되는 변형률이라고 볼 수 없다. 따라서 콘크리트에 부착하는 센서를 사용할 경우에는 균열에 의한 영향을 없애거나 적어도 최소화할 수 있는 방안이 필요함을 본 실험을 통해 알 수 있다.

#### 4. 연속보의 거동특성

연속보의 거동특성을 파악하는 데에는 단순보에서 사용된 콘크리트 표면에 직접 부착하는 센서(단독형)외에도 조합형 광섬유센서 및 조합형 전기저항식 센서를 추가로 부착하여 실험을 실시하였다. 조합형 센서란 미국 FISO사에 의뢰하여 제작한 센서로서 Photo 1과 같이 일정한 길이의 탄소섬유(CFRP)소재 위에 광섬유 또는 전기저항식 변형률센서를 코팅하여 부착시킨 것이다. 이 때 사용된 광섬유센서 및 전기저항식 센서의 모델 및 형식의 제원은 Table 1과 같으며, Fig. 11과 같은 개념으로 콘크리트면에 부착하였다.

실험은 단순보와 동일한 방법으로 진행하였으며, 역시 변형률과 처짐, 균열양상을 상호 비교 분석하는 방법으로 거동을 평가하였다. Fig. 2의 시편에 하중을 가하기 시작하여 하중이 약 50kN에 도달하였을 때 Fig. 12에 도시한 균열이 육안으로 처음 발견되었으며, 그 위치는 보의 우측 중앙부 하면이었다. 이어 하중을 증가시키면서 얻은 실험 결과를 좌·우측 경간 중앙부에 대하여 나타내면 Figs. 13~16과 같다. Figs. 13과 14는 좌·우측 경간 중앙부(Fig. 2의 3 및 8번점)에서의 인장철근에 부착한 전기저항식 변형률센서와 동일 위치의 인장부 콘크리트 표면에 부착한 전기저항식 및 광섬유센서로부터 얻은 변형률 값의 하중

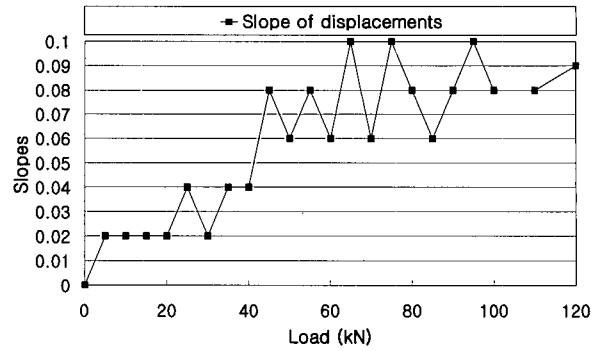


Fig. 7 Slopes of deflection associated with loading steps (center of the simple beam)

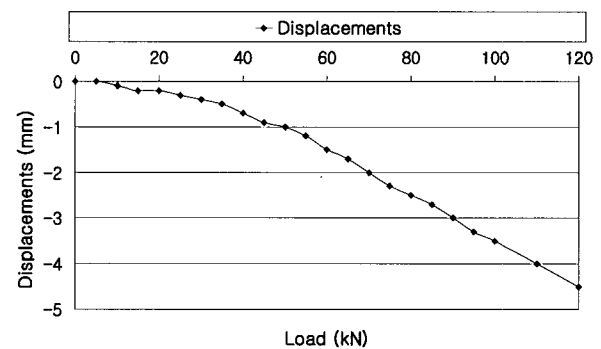


Fig. 8 Relationship between loads and deflections (center of right hand part in a simple beam)

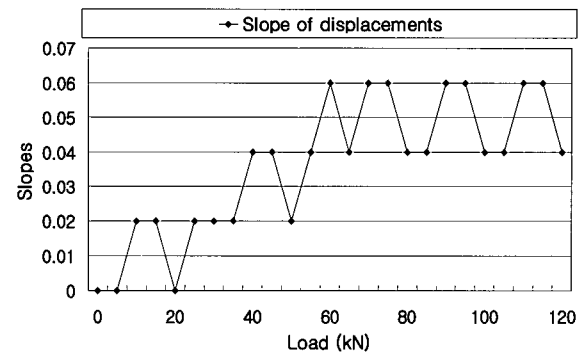


Fig. 9 Slopes of deflection associated with loading steps (center of right hand part in a simple beam)

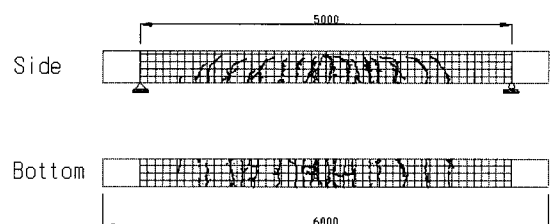


Fig. 10 Crack patterns at loading 250 kN (simple beam)

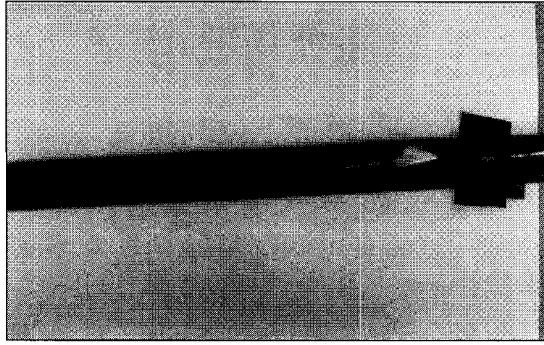


Photo 1 Combined-type fiber optic sensor

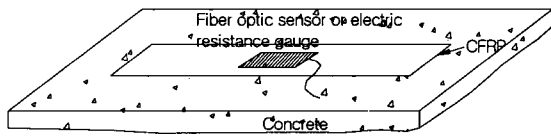


Fig. 11 General concept of using a combined-type sensor

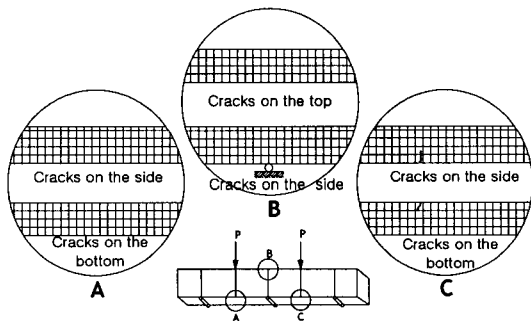


Fig. 12 Crack Patterns at loading 50 kN (continuous beam)

크기별 변화추이를 나타낸 것이다. 단, 단순보와는 달리 조합형 센서의 결과 값들을 그림 상에 추가로 표기하였다. 먼저 보의 좌측 경간 중앙에 해당되는 Fig. 13에 따르면 약 40 kN까지는 철근과 콘크리트의 변형률이 유사한 값을 가지고 진행하다가 그 이후부터는 철근의 변형률은 계속 증가하는 반면, 콘크리트의 변형률은 낮은 단계에서 머무르고 있음을 알 수 있다. 이는 이 하중단계에서 내·외부에서 균열이 발생하기 시작함에 따라 콘크리트의 하중저항능력이 상실되어 나타난 것으로 추정된다. 그러나 조합형 센서로부터 얻은 변형률 값은 그림에서 보는 바와 같이 일반 전기저항식 및 광섬유센서 모두 철근의 변형률을 약간 상회하는 값을 유지하며 진행되고 있는 것을 알 수 있다. 이 현상은 조합형 센서의 경우 균열이 발생하더라도 이것이 직접적으로 센서에 영향을 미치지 않고 탄소

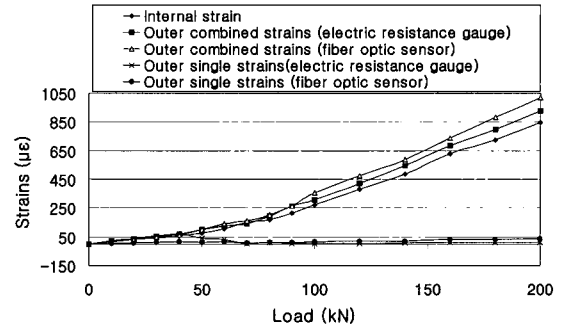


Fig. 13 Relationship between loads and strains (center of the left span in continuous beam)

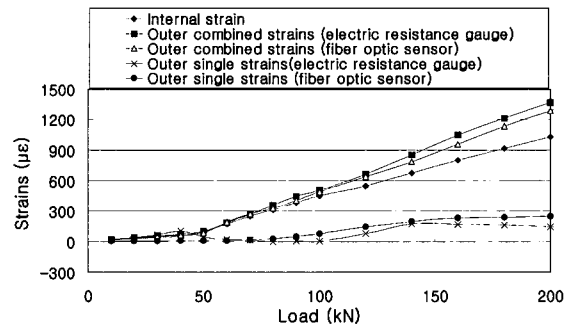


Fig. 14 Relationship between loads and strains (center of the right span in continuous beam)

섬유의 길이에 걸쳐 소산되기 때문인 것으로 분석된다. 이는 콘크리트에 균열이 발생된 이후의 변형률을 측정할 경우 이 조합형 센서가 긴요하게 사용될 수 있다는 것을 시사해 주고 있다고 할 수 있다. 물론 센서의 변형률이 인장부 콘크리트의 변형률이 아닌 콘크리트와 센서 사이에 게재되어 있는 탄소섬유의 변형률이기 때문에 전적으로 콘크리트의 변형률로 대체될 수는 없겠으나 구조물의 변형률을 대략적으로 판단하는 데에는 충분한 가치가 있다고 판단된다.

우측 경간 중앙부에 대한 계측결과에서도 유사한 분석을 얻을 수 있다. 우측 경간 중앙부(8번점)에 대한 결과를 나타낸 Fig. 14에서도 하중이 40 kN에 도달하기까지는 철근과 콘크리트가 거의 같은 변형률을 보이다 그 이후부터는 철근이 외력에 저항하기 시작하는 것을 알 수 있으며, 이는 균열도상의 내용과도 매우 잘 일치하고 있다. 나머지 분석 내용은 좌측 경간에 대한 설명과 동일하다. 다만, 좌우측 경간의 중앙은 원래 같은 단면력이 발생되기 때문에 변형률의 크기나 변화양상이 같아야 하나 Figs. 13과 14를 비교하면 우측 경간의 변형률이 다소 크게 진행되고 있는 것으로 나타나고 있다. 이 현상은 아무리 보가 동일한 콘크리트 재료로 구성되었다고 하더라도 차이가 있을 수 있고, 또한 센서위치가 정확히 대칭으로 좌우경간의 중앙에 부착되었는지, 하중의 재하 위치상의 오차 등 많은 오차요인이 있을 수 있음을 감안할 때 비교적 근접한 값

이라고 판단된다.

단순보와 같이 보의 거동을 처짐을 통하여 확인하기 위하여 Figs. 15 및 16과 같이 좌우측 경간 중앙부에서의 하중단계별 처짐을 계측하였고 이로부터 처짐기울기를 구하였다. 단순보와 다른 점은 연속보에서는 처짐기울기를 작도할 때 하중단계별 증가분을 10 kN으로 하였다. 이들 그림에 따르면 우선 낮은 하중단계에서부터 처짐이 빠르게 증가하는 것이 차이점으로 확인되었으며, 좌측보다는 우측 구간의 처짐량이 다소 크게 나타났다.

이후의 균열진전은 앞서 기술한대로 50 kN의 하중을 가력하였을 때 우측 경간 중앙부(8번점) 근처에서 처음 발견되었으며, 부모멘트가 생기는 중앙 지점부에서는 70 kN의

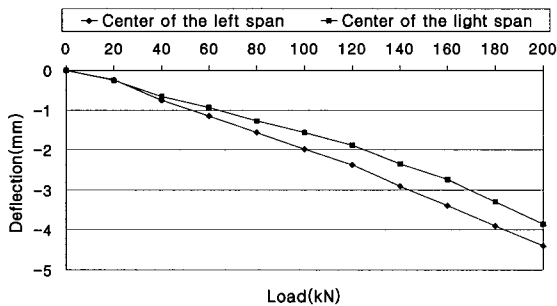


Fig. 15 Relationship between loads and deflections (continuous beam)

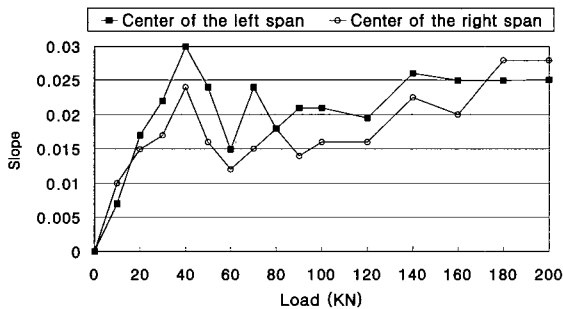


Fig. 16 Slopes of deflection associated with loading steps (continuous beam)

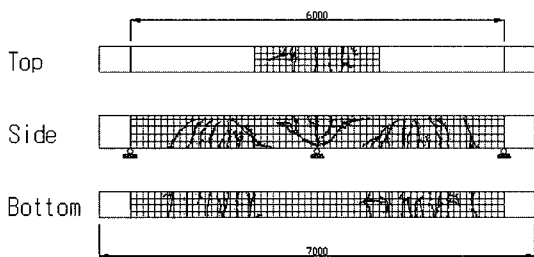


Fig. 17 Crack patterns of continuous beam at final loading

하중재하에서 처음으로 균열이 확인되었다. 균열은 단순보에서와 같이 예상대로 미세균열의 형태로 나타나다 점차 바닥면과 상면을 가로지르는 형태로 진행하였으며, 하중이 증가함에 따라 균열은 보의 중립축으로 깊어지나 중립축을 넘어서면서부터는 단순보처럼 균열이 하중 집중점을 중심으로 모이고, 부모멘트가 작용되는 부분은 지점으로 균열이 향하는 이른바 사방향 형태로 균열이 진행되면서 파괴에 접근하였다. Fig. 17은 최종 하중 단계에서의 균열도를 나타낸 것이다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 변형률센서, 변위계, 균열진전도 등을 종합적으로 이용하여 단순보 및 연속보에 대한 거동특성을 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘크리트 보의 거동특성을 연구하는 데 있어 변형률센서, 변위계, 균열망도 등을 종합적으로 사용하면 각 센서의 문제점을 상호 검증하는 역할을 할 수 있으므로 거동해석시 효과적임을 확인하였다.
- 2) 센서로 콘크리트 보의 거동을 파악하는데 있어서 균열이 발생한 이후에는 단독정보보다는 변형된 조합형 센서를 사용할 경우 콘크리트 내부 철근에 변형률센서를 부착하지 않고 단순히 외부 콘크리트 표면에 센서를 부착함으로써 편리하게 구조물의 변형률의 크기를 유추할 수 있음을 확인하였다.
- 3) 보에 균열이 발생하기 이전에는 인장부 콘크리트가 외력에 저항할 수 있으나 일단 균열이 발생한 이후부터는 보의 강성이 저하되어 처짐이 계속 증가되는 비선형 거동을 하게 되며, 이 때부터는 인장부 철근이 전적으로 외력을 담당하는 것을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. 한국건설기술연구원, “광섬유센서를 이용한 교량안전진단 기술개발 연차보고서”, 건설교통부, 2000.
2. 김기수, “광섬유센서를 이용한 구조계측시스템의 적용”, 한국구조물진단학회 논문집, 제3권 3호, 1999, pp.49-54.
3. 김남식, “광섬유 케이블을 이용한 콘크리트 구조물의 균열 탐사”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제12권 1호, 2000, pp.896-902.
4. Vurpillot, S., Inaudi, D., and Scano, A., “Mathematical Model for the Determination of the Vertical Displacement from Internal Horizontal Measurements of a Bridge,” Smart Materials and Structures, Vol. 2719, SPIE, San Diego, 1996, pp.46-53.
5. Inaudi, D., Vurpillot, S., Casanova, N., and Kronenberg P., “Structural Monitoring by

- Curvature Analysis Using Interferometric Fiber Optic Sensors," *Smart Materials and Structures*, Journal 7, 1998, pp.199-208.
6. Inaudi, D., Vurpillot, S., Casanova, N., and Osa-Wyser, A., "Development and Field Test of Deformation Sensors for Concrete Embedding," *Smart Materials and Structures*, Vol. 2721, SPIE, San Diego, 1996, pp.139-148.
  7. Elamari, A., Inaudi, D., Breguet, J., Pflug, L., Gisin, N., and Vurpillot, S., "Low-Coherence Fiber Optic Sensors for Structural Monitoring," *Structural Engineering International*, Vol. 5, No. 1, 1995, pp.43-47.
  8. Vurpillot, S., Inaudi, D., and Mivelaz, P., "Low-Coherence Deformation for the Monitoring of Concrete Structures," European Symposium on Optics for Environmental and Public Safety, Vol. 2507, SPIE, Munich, 1995, pp.35-44.
  9. Merzbacher, C. I., Kersey, A. D., and Friebele, E. J., "Fiber Optic Sensors in Concrete Structures : a review," *Smart Materials and Structures*, Journal 5, 1996, pp.196-208.
  10. Vurpillot, S., Krueger, G., Benouaich, D., Clement, D., and Inaudi, D., "Vertical Deflection of a Prestressed Concrete Bridge Obtained Using Deformation Sensors and Inclinometer Measurements," *ACI Structural Journal*, Vol. 95, No. 5, 1998, pp.518-526.
  11. 김연태, "광섬유센서를 이용한 콘크리트보의 변형을 측정 및 균열검출에의 적용성," 대한토목학회논문집, 제22권 2-A호, 2001, pp.221-227.

## 요 약

본 연구에서는 일반 전기저항식 변형률센서 및 광섬유센서, 변위계를 이용하여 콘크리트 보의 거동특성을 연구하고자 하였다. 이를 위하여 콘크리트 보를 제작하고 여기에 광섬유 및 일반 전기저항식 변형률센서를 표면에 부착 또는 내부에 매설하였고 또한, 보의 하면에는 변위계를 설치한 후 파괴에 이를 때까지 하중을 정적으로 점증시켜가면서 보의 하중단계별 거동을 조사하였다.

실험결과, 이 방식이 보의 거동을 조사하는 데 효과적임을 확인하였으며, 조합형 변형률센서가 보에 균열이 발생한 후의 거동을 파악하는데 매우 효과적임을 알 수 있었다. 아울러 보는 균열발생 전에는 인장부 콘크리트가 외력에 저항할 수 있으나 일단 균열이 발생한 후에는 보의 강성이 저하되어 처짐이 계속 증가되는 비선형거동을 하며, 이 때부터는 인장부 철근이 전적으로 외력을 담당하는 것을 본 연구를 통해 파악할 수 있었다.

**핵심용어 :** 변형률센서, 변위계, 조합형 센서