

자기유도현상을 이용한 철근 응력측정

Stress Measurement of Steel Bar Using Magnetoelasticity

임 홍 철* · 조 영 식**

Rhim, Hong-Chul · Cho, Young-Sik

ABSTRACT

An attempt has been made to measure existing steel stress using magnetoelasticity. A device has been developed and used for the measurement of magnetism in response to the deformation of a steel bar. The proposed technique can be used for the assessment of existing reinforced concrete structures by the measurements of steel stress embedded inside concrete. A traditional technique requires to break the existing steel bar to measure existing strain. However, the proposed technique is developed to measure the stress without damaging the steel bar. A successful application of magnetoelasticity depends on the establishment of relationship between elastic and magnetic response due to loading. To investigate the correlation between the two, steel bars are loaded in tension under uniaxial loading while the magnetic reading is recorded. Based on the test results, equations are suggested to predict stress for steel bars with different diameters.

Keywords: magnetoelastic, steel stress, nondestructive testing

1. 서 론

1842년 James Prescott Joule이 자기변형 현상을 발견한 이래, steel의 잔존 응력 측정 기술에 대한 응용을 목적으로 많은 연구가 이루어지고 있다. 자기변형 현상이란, 어떠한 자성체에 자기장의 변화가 생기면 그 물체에 변형이 생긴다는 것이다. 자기 변형 현상은 자성체나, 변형 가능한 재료등에서 관찰되는 일반적인 현상이다. 이러한 현상에 대한 분석은 Lacheisserie에 의해 연구된 바 있다(1993).

미국에서는 강재 케이블의 응력측정을 위한 리모트 코일 자기 탄성 응력 센서를 개발하기 위한 연구가 수행되었고, 독일의 Kassel 대학에서는 구조용 강재에 있어서 자왜, 응력, 재료의 투자율간의 인지할 수 있는 연관성을 밝히기 위한 실험을 하였다. 프리스트레스 케이블 표면에 멤돌이전류 센서를 위치시켜 코일의 임피던스를 측정하였고, 강재로 보강된 콘크리트의 응력변화를 유도하였는데 멤돌이전류를 이용한 응력과 변형률 측정법에서 주요한 영향인자는 잔류응력, 자왜, 자왜,

* 정회원 · 연세대학교 건축공학과 교수 E-mail: hcrhim@yonsei.ac.kr

** 연세대학교 건축공학과 석사과정 E-mail: youngsigy@hanmail.net

온도, 기하학적 요건으로 나타났다.

또한 스틸 케이블에 자기탄성 응력센서를 응용하는 연구가 진행되었고(Wang 등, 2001), 자기변형물체의 구조적 응용이 시도되기도 하였다.(Dapino, 2002). 또한 철근콘크리트 구조물 내의 프리스트레스트 철근에서 자기탄성 스트레이 측정기기를 이용하여 힘과 변형이 측정되었고(Werner, 2003), 그 방법은 철골철근콘크리트 건물에도 사용되었다(Schoenekess 등, 2003).

지금까지의 연구는 강제 케이블에서의 응력변화와 전자기적 특성인 투자율과의 연관성에 대한 계 주를 이루었다. 하지만 현재 우리나라 대부분의 구조물은 RC로 되어있고 RC 구조물 내부 철근의 응력을 측정하는 방법은 철근을 끊어야만 정확한 측정이 가능하므로 더 안전한 비파괴 방법에 대한 연구가 필요하다.

2. 자기변형 이론과 실험 원리

모든 자성체는 각각의 소자에 자기 모멘트를 가지고 있다. 자기장이 가해지지 않은 경우 그 자기 모멘트는 모든 방향으로 각각 존재하고 있으며, 모든 자기 모멘트의 벡터 합은 '0'이 되는데 이를 탈자화 상태라고 한다. 여기에 만약 일정한 방향으로 자기장이 가해진다면, 모든 소자는 그 자기 모멘트를 한 방향으로 향하게라고 하며, 물체가 자화된 정도에 따라서 되는데 이를 자화 물체의 길이가 변한다는 것이 자기변형 현상이다. 본 연구는 역자기 변형현상을 이용한 것으로 물체에 변형이나 응력이 작용하게 되면 자기적 성질의 변화를 측정하는 것이다. 이것이 실험 장비의 기본 원리가 된다.

실험에 사용될 장비는 ㄷ자 모양의 코일로 감싼 프로브를 가진 자기회로로 형성되어 있다. 코일에 전류를 흐르게 하면 자기장이 형성되고 측정대상물체에 응력이 존재한다면 자기가 투과하는 정도에 변화가 있게 된다. 이러한 자기장의 변화는 자기회로를 통하여 불균형 전류로 전환하게 되고 이를 이용하여 응력을 측정하게 된다.

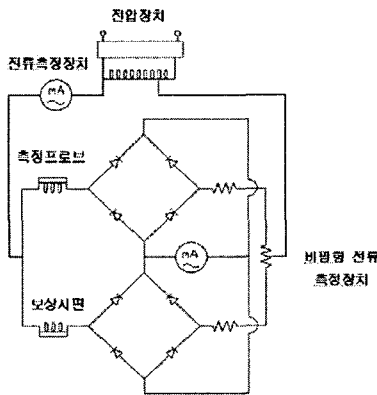


그림 1 측정 기기의 회로 개념도

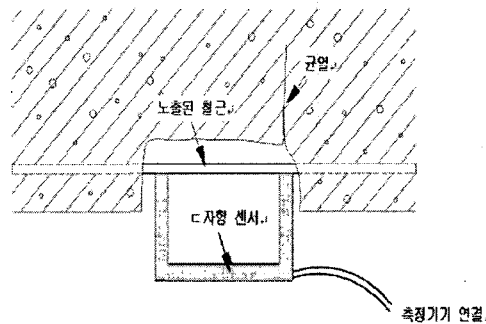


그림 2 측정 개념도

또한, 측정하고자 하는 대상체에는 이미 응력이 존재하기 때문에 0점 조정을 위하여 대상체와 동일한 조직, 재질 및 형상을 가지고 있는 보상시편을 사용하여야 한다. 이 보상시편에서 기준이 되는 전류값을 인식하게 되고 대상체에 측정용 프로브를 밀착시키면 대상체의 응력을 측정할 수가 있다. 이렇게 측정된 전압 변화의 차이는 측정 철근에 가해진 응력의 변화와 선형관계를 가지며, 이 선형관계는 철근이 항복할 때까지 계속된다.

3. 실험 방법 및 장치

철근의 응력-변형도 곡선을 얻기 위하여 KS 금속 재료 인장 시험편에 맞는 시편을 제작하여 사용하였다. 그리고 자기 변형 실험을 위하여 직경이 16 mm, 19 mm 길이가 1000 mm 의 철근을 준비하였다. 준비된 시편을 만능재료시험기(UTM)에 물릴 수 있도록 양 끝단에 각각 150 mm씩 그림부를 깎았다. 그림부를 제외한 철근 시편의 총 길이는 700 mm 였다. 이렇게 크기와 종류가 같은 7개의 철근 시편으로 자기변형 실험을 실시하였다.

먼저, 철근의 응력-변형도 곡선을 확인하기 위한 실험을 실시하였다. 준비된 시편을 재하속도 4 mm/min. 으로 인장 실험을 실시하여 항복점을 확인 한 후, 다른 시편을 사용하여 역자기변형 현상에 의한 전압을 측정하였다. 역자기 변화에 의한 전압을 측정하려면 앞에서 말한 바와 같이 보상 프로브에 접촉시킨 보상 시편과 같은 크기와 종류의 철근 시편을 측정 프로브에 접촉시킨다. 외력이 존재하지 않는 상태에서는 두 시편간의 전압 차이는 '0'이 된다. 이런 0 점 조절 과정을 거친 후, 측정 시편을 측정 프로브에 고정된 다음 만능재료시험기 (UTM) 로 하중을 가해 실험을 실시한다. 만능재료시험기로부터 측정 시편의 응력-변형도 곡선을 얻음과 동시에 자기 변형 측정기에 의한 시간에 따른 전압의 값도 기록하게 된다.

이렇게 얻은 응력, 전압의 결과 값을 시간에 따른 하나의 그래프에 기록하여 분석하고, 이로부터 전압의 변화에 따른 응력의 변화를 비교 할 수 있다.

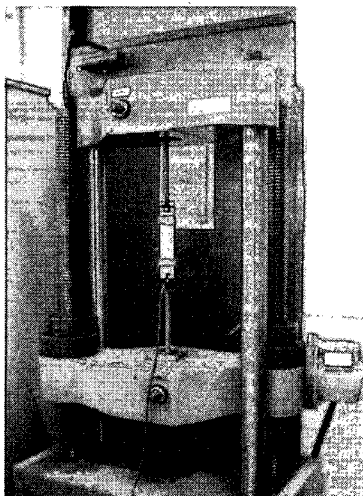


그림 3 만능재료시험기에 장착된 시편

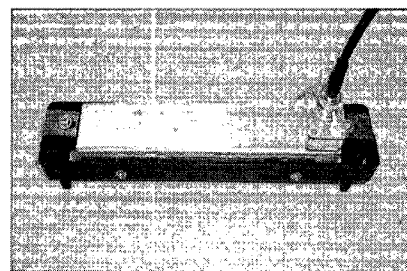


그림 4 측정 브로브의 모습

4. 실험 결과 및 분석

그림 5는 직경 16 mm 인 철근 시편에 인장력이 작용할 때 나타나는 시간에 따른 전압의 측정값이다. 그림 6은 직경 16 mm 인 철근 시편에 인장력이 작용할 때의 시간에 따른 응력의 변화값을 측정한 값이다. 이 그래프 에서 하중을 가한 후 25초 후에 항복을 함을 알 수 있다. 이와 같은 실험은 19 mm 의 시편에서도 실시되었다.

그림 7은 16 mm, 19 mm 철근 시편의 응력과 전압의 상관관계를 표현한 그래프이다. 전압을 x축으로 표현하였고, 응력은 y축에 표현하였다. 이 그래프를 통하여 시편 직경에 따라서 서로 다른 상관관계를 가짐을 확인 할 수 있었다. 이에 따라 직경에 따라 각각의 상관관계식이 필요함을 알 수 있다.

그림 7로부터 직경 16 mm, 19 mm 에서의 응력과 전압과의 상관관계식을 제안하였다.

$$y = -0.0034x^3 + 0.0446x^2 + 0.3561x - 0.0411 \quad (D16)$$

$$y = -0.001x^3 + 0.1022x^2 + 0.214x - 0.0353 \quad (D19)$$

실험 결과 하중을 가함에 따른 응력과 자기장의 변화는 선형적이거나 부분적으로 선형 관계임을 확인 할 수 있다. 하지만 측정 장비의 현장 적용을 위해서는 직경에 따른 응력과 전압의 상관관계의 확인과 철근의 구성 성분에 따른 변화 값에 대한 규명이 필요할 것으로 보인다.

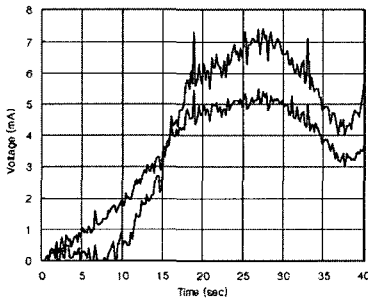


그림 5 16 mm 직경 철근 전압 측정 결과

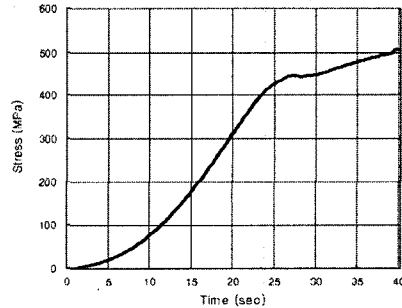


그림 6 응력 측정 결과

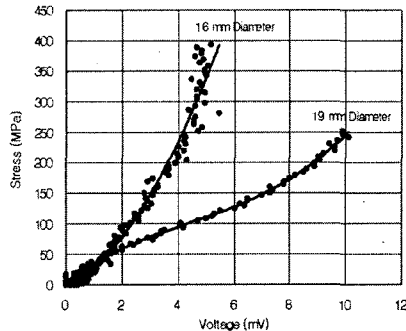


그림 7 전압과 응력과의 상관관계

5. 실험 결과 및 분석

자기변형의 성공적인 응용은 하중에 의한 철근의 탄성적 변화와 자기적인 변화가 얼마나 선형성을 가지느냐에 달려있다. 만약 철근 내의 자기모멘트의 방향이 가해지는 하중의 세기에 비례하여 변하는가, 그리고 그에 따른 자기변형의 정도 또한 비례관계를 가지는가가 관건이다. 이 두 요소의 관계를 알고자 자기변형을 측정하는 기기를 장착한 채로 인장실험이 수행되었고, 그 결과 선형관계, 또는 부분적으로 선형관계임을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고, 한국건설교통 기술평가원에서 위탁 시행한 2004년도 건설핵심 기술 연구개발사업 (과제번호 : 04 핵심기술 C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Rhim, H. C.** (2005) Stress Measurement of a Steel Bar Using Magnetoelasticity International Workshop on Advanced Smart Material and Structure Technology Gyeong-Ju, Korea, July 21-24
- Rhim, H. C. Oh, Bohwan, Park, H. S.** (2005) Magnetoelastic Measurements of Steel Stress under Uniaxial Loading, The 1st International Conference on Advanced Nondestructive Evaluation, Jeju, Korea, November 7-9,
- Lacheisserie, E.** (1993) *Magnetostriction : Theory and Applications of Magnetoelasticity*, CRC Press.
- Dapino, J.** (2002) Magnetostrictive Materials - Their Use in Smart Structure Applications, Proceedings of US-Korea Workshop on Smart Infra-Structural Systems, pp. 43-50, Busan, Korea
- Jarosevic, A.** (1999) Magnetoelastic Method of Stress Measurement in Steel, Smart Structures, Kluwer Academic Publishers.
- Wang, M. Lloyd, G. and Hovorka, O.** (2001) Development of a Remote Coil Magnetoelastic Stress Sensor for Steel Cables, Proceedings of SPIE 8th Annual International Symposium on Smart Structures and Material, Health Monitoring and management of Civil Infrastructure Systems, Newport Beach CA, Vol. 4337, pp. 122-128,
- Werner, R.** (2003) Measurement of Force and Strain in Pre-Stressed Steel Bar in Reinforced Concrete using the Magnetoelastic Stray Field Method, International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering 2003(NDT-CE 2003), Berlin, Germany.
- Schoenekess, H. Ricken, W. and Becker, W.** (2003) Influences of Magnetostriction and Magnetisation State on Strain and Force Measurement with Eddy-Current Sensors Applied to Steel Reinforced Concrete, International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering 2003, Berlin, Germany.