ISSN (Print) 1598-5385
ISSN (Online) 2233-6648
≪연구논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society 26(4), 133-136 (2016) http://dx.doi.org/10.4283/JKMS.2016.26.4.133

Tensile Stress Measurement of Tendon with Wiedemann Effect

Sunju Kang and Derac Son*
Dept. of Photonics and Sensors, Daejeon 34430, Korea

Changbin Joh and Jungwoo Lee
Korea Institute of Civil Engin. and Building Tech., Goyang 10223, Korea

(Received 24 June 2016, Received in final form 19 August 2016, Accepted 19 August 2016)

In this study, we have constructed a measuring system to investigate tensile stress of tendons, which is employed in bridges, by means of the magnetic non-destructive testing (NDT) method. For the twisted 7-strands tendon, we have used Wiedemann effect. An ac current was applied to the tendon and voltage induced from Search Coil on Tendon (SCT) under applying tensile stress was measured. The measuring system consists of tensile stress applying apparatus up to 2 GPa, and ac current supply to apply current to the tendon directly to magnetize the tendon. We have invested two kinds of tendon which were produced by different companies for testing with constructed measuring system. Voltage induced from SCT was decreased up to 1.5 GPa linearly and two kinds of tendon which were produced by different companies shows similar trends. Thus, Wiedemann effect was also applicable to measure tensile stress of tendon by means of magnetic NDT.

Keywords : tendon, NDT, magnetostriction, Wiedemann effect

Wiedemann 효과를 이용한 텐던의 인장력 측정

강선주 · 손대락*
한남대학교 광 · 센서공학과, 대전시 대덕구 한남로 70, 34430

조창빈 · 이정우
한국건설기술연구원, 경기 고양시 일산서구 고양대로 283, 10223

(2016년 6월 24일 받음, 2016년 8월 19일 최종수정본 받음, 2016년 8월 19일 게재확정)

본 연구에서는 현재 교량에 사용되고 있는 텐던의 인장력을 측정하기 위한 자기적 비파괴 검사 방법을 연구하였다. 최근 자기적 방법으로 사용되고 있는 초기투자율(μ_i)과 증분투자율(μ_Δ) 측정 방법은 코일을 권선하여 텐던을 자화 시켜야 하고, 텐던의 자기소거상태에서 측정하여야 하는 어려움이 있다. 때문에 본 연구에서는 텐던이 7개의 strand로 꼬여 있는 것을 감안하여, Wiedemann effect를 활용한 방법을 연구하였다. 텐던에 직접 교류 전류를 인가한 후, 인장력을 변화시키면서 그에 따른 텐던의 자화 상태의 변화를 텐던에 부착된 탐지코일(Search Coil on Tendon; SCT)로부터 측정하고 분석하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 텐던에 인장력을 2 GPa까지 인가할 수 있는 장치와 텐던에 직접 교류 전류를 인가하여 텐던을 자화시키기 위한 전류공급 장치를 제작하였다. 비교실험을 위하여 두 제조회사에서 제작된 동일한 규격의 7-strands 텐던에 대한 인장력에 따른 자화 상태의 변화를 측정한 결과, 텐던에 인가하는 인장력에 따라 텐던에 부착된 탐지코일에서 유도되는 기전력의 변화가 비교적 선형적으로 감소함을 알 수 있었으며, 이는 A회사와 B회사의 텐던에서 모두 유사한 특성을 보여주었다. 따라서 탐지코일을 부착하여 제작한 텐던을 신설되는 교량에 적용한다면, Wiedemann 효과를 활용하여 교량의 안전 진단을 위한 자기적 비파괴 검사 방법으로 적용 가능할 것이라고 생각된다.

주제어 : 텐던, 비파괴, 자기변형, Wiedemann 효과

© The Korean Magnetics Society. All rights reserved.
*Corresponding author: Tel: +82-42-629-7512,
Fax: +82-42-629-8313, e-mail: deracson@hnu.kr

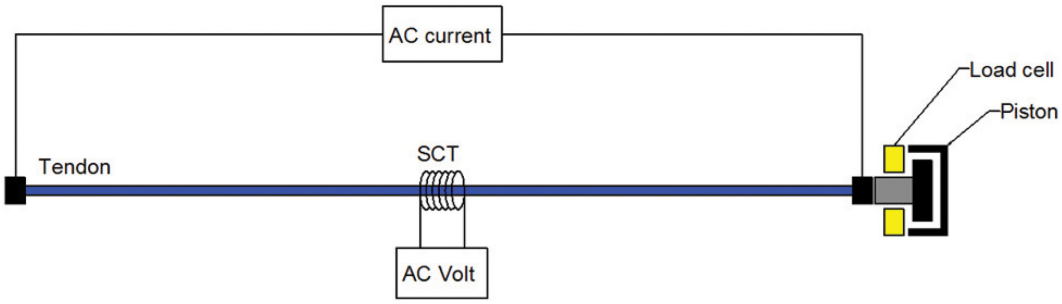


Fig. 1. (Color online) Schematic diagram of the Wiedemann effect measuring system constructed in this work.

I. 서　　론

지구에서 가장 풍부한 원소 중 하나인 철은 가공이 쉽기 때문에 차량, 선박, 교량 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 이러한 철이 교량에서 활용될 경우 인장력에 약한 콘크리트의 단점을 보완하기 위한 긴장재로 콘크리트 구조물과 함께 사용되는데, 이처럼 철이 구조용 강으로 사용될 경우 안전진단은 가장 중요한 요소 중 하나이다.

안전 진단을 위한 방법으로는 그 효율성과 경제성으로 인하여 비파괴 검사(Non-Destructive Testing)가 많이 사용되고 있지만, 철강의 자기적 특성이 비선형의 자화 곡선과 이력(hysteresis)현상이 있는 자기이력곡선으로 인하여 비파괴 검사에 적용이 어렵다.

따라서 최근에는 자기적 특성을 활용한 비파괴 검사 방법으로 와전류 탐상 방법[1], 누설자속을 탐지하는 방법[2] 등 다양하게 비파괴 검사가 진행되고 있다. 또한, 강철의 자기변형(magnetostriction)현상을 이용하는 방법으로 영구자석을 사용하여 철관을 자화 시키고, 펄스 자기장을 인가하여 철관에 펄스형태의 음파를 발생시키면 수신부 코일에서는 이 음파로 인해 자기변형의 역현상에 의한 자기유도의 변화가 발생하여 전압이 유도된다. 이 유도된 전압의 시간차로부터 송신부와 수신부 사이에 존재할 수 있는 결함을 검사하는 방법이 사용되고 있다[3, 4].

본 연구에서는 현재 교량에 사용되고 있는 텐던의 인장력을 측정하기 위한 자기적 비파괴 검사 방법을 연구하였다. 최근 자기적 방법으로 사용되고 있는 초기투자율(μ_i)과 증분투자율(μ_Δ) 측정 방법은 코일을 권선하여 텐던을 자화 시켜야하고, 텐던의 자기소거상태에서 측정하여야 하는 어려움이 있다.

때문에 이를 보완하기 위하여 본 연구에서는 텐던이 7개의 strand로 꼬여 있는 것을 감안하여, Wiedemann effect를 활용한 방법을 연구하였다.

Wiedemann effect는 강자성체 막대의 한 쪽 끝을 고정시킨 상태에서 전류를 인가하면 축 방향과 원주 방향으로 자화가 변화되어 이것의 조합에 의해 나타나는 자기변형현상으로[5], 본 연구에서는 이를 활용하여 꼬여있는 텐던에 직접 교류 전류를 인가한 후, 인장력을 변화시키면서 그에 따른 텐던의 자화 상태의 변화를 텐던에 부착된 탐지코일(SCT)에 유도되는 기전력을 통해 측정하고 분석하였다.

II. 측정 장치의 제작

본 연구에서는 텐던에 교류 전류를 인가한 후 인장력을 변화시키면서 그에 따른 자화 상태의 변화를 측정하기 위한 측정 장치를 제작하였다.

인장력에 따른 자화 상태의 변화를 보기 위하여 텐던에 인장력을 2 GPa까지 인가할 수 있는 장치를 제작하였고[6], 텐던에 직접 교류 전류를 인가하여 텐던을 자화시키기 위한 전류공급장치를 제작하였다.

Fig. 1은 실험을 위하여 본 연구에서 제작된 측정 장치의 개략도이며, 텐던에 인장력을 인가하기 위하여 30,000 kgf까지 인장력을 인가할 수 있는 수동유압장치를 사용하였고, 힘의 측정은 범위가 50,000 kgf인 load cell을 사용하여 구성하였다. 또한, 텐던에 교류 전류를 직접 인가하기 위한 전류공급장치는 Fig. 2의 개략도와 같이 제작하였으며, turn ratio가 500 : 1인 전류변압기(CT)를 사용하여 60 Hz의 교류 전류를 0 A_{rms}에서 300 A_{rms}까지 측정할 수 있도록 하였다.

텐던에 흘려주는 교류 전류를 조절하기 위하여 변압기의 입력전압을 조절하는 방식을 택하였으며, 이를 위해 1 kW의 슬라이닥스를 사용하였다. 또한, 변압기의 이차코일에서 큰 전

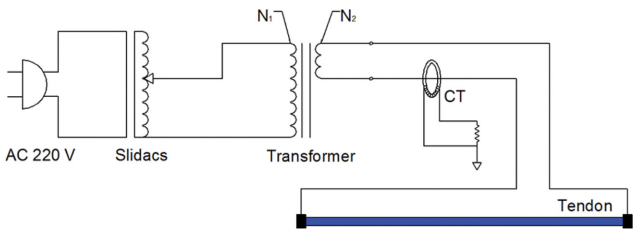


Fig. 2. (Color online) Schematic diagram of the ac current supply constructed in this work.

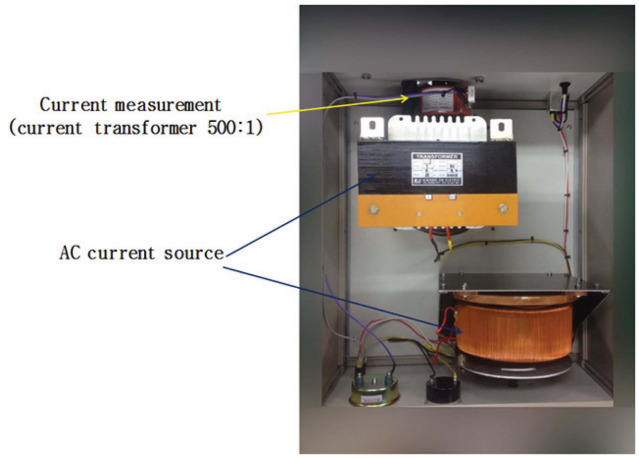


Fig. 3. (Color online) Photograph of the current supply to apply current into tendon up to 300 A_{rms}.

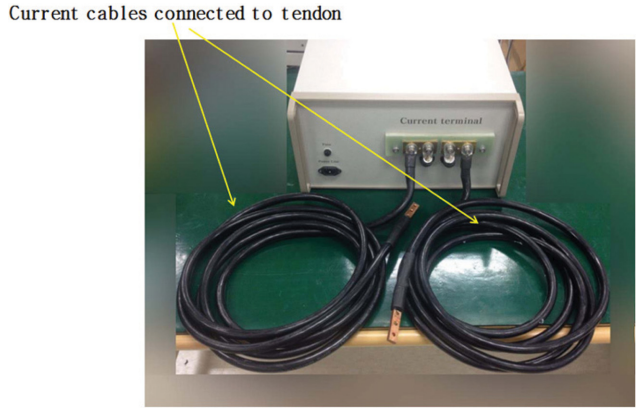
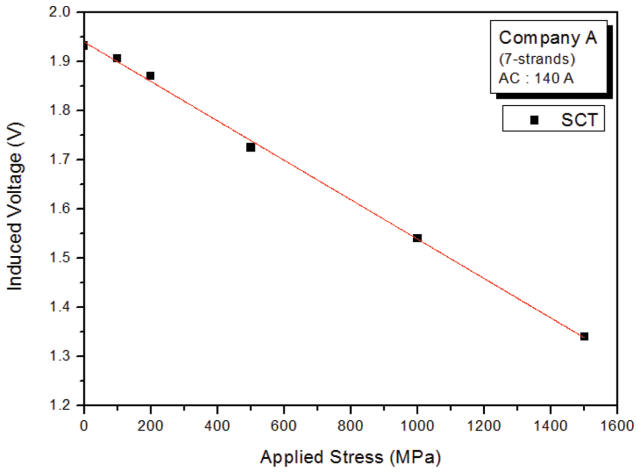
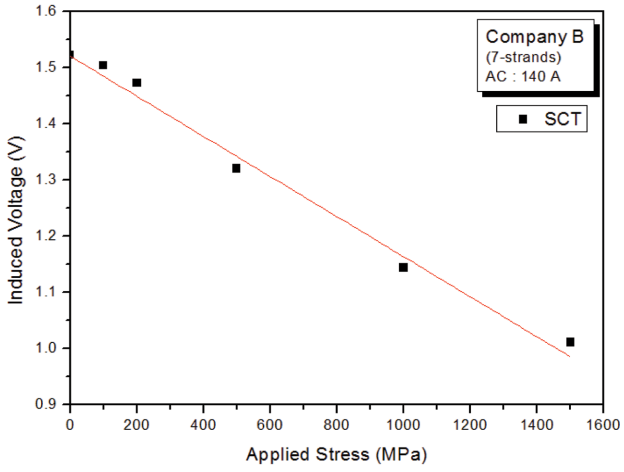


Fig. 4. (Color online) Photograph of the ac current cables to apply current into tendon up to 300 A_{rms}.



(a)



(b)

Fig. 5. (Color online) Induced voltage from SCT when 140 A_{rms} ac current is applied to the tendon under different tensile stress up to 1.5 GPa; (a) for A-company tendon, (b) for B-company tendon.

류를 얻기 위하여 변압기의 일차코일은 직경 2.2 mm의 에나멜 동선 168회 권선하였고, 이차코일은 직경 25 mm인 연선을 2회 권선하여 일차코일과 이차코일의 비를 84 : 1로 제작하였다.

Fig. 3은 본 연구에서 제작된 300 A_{rms}까지 인가 가능한 전류공급장치의 사진이며, Fig. 4는 전류공급장치의 뒷부분 사진으로 텐던에 전류를 직접 인가하기 위하여 직경이 25 mm인 연선을 각각 5 m의 길이로 제작하였다.

제작된 측정 장치를 통해 텐던의 자화 상태 변화를 측정하기 위한 텐던에 부착된 탐지 코일(SCT)은 직경이 1.0 mm인 에나멜 동선을 190회 권선하여 사용하였다.

III. 측정 및 해석

제작된 측정 장치를 사용하여 두 제조회사에서 제작된 동일한 규격의 7-strands 텐던에 대한 인장력에 따른 Wiedemann 효과를 측정하였다.

실험은 텐던에 직접 60 Hz의 교류 전류를 140 A_{rms} 인가한 후 텐던에 인장력을 0 MPa, 100 MPa, 200 MPa, 500 MPa, 1000 MPa, 1500 MPa로 변화시키면서 텐던에 부착된 탐지코일로부터 유도된 기전력을 측정하였고, 그 변화를 분석하였다.

Fig. 5는 본 연구에서 수행된 실험의 결과를 보여주는 것으로, 텐던에 인가하는 인장력에 따라 텐던에 부착된 탐지코일에서 유도되는 기전력의 변화가 비교적 선형적으로 감소함을 알 수 있다. A회사와 B회사의 텐던에서 모두 유사한 특성을 보여주었으며, 이는 Wiedemann 효과에 의하여 나선형의 텐던에 전류를 공급한 다음 인장력을 인가하면 자화 용이축이 축 방향에서 벗어나기 때문에 축 방향의 자기유도 성분이 감소 한 것을 보여준다.

측정 결과를 통해 텐던에 탐지코일을 부착하여 제작한 텐

던을 신설되는 교량에 적용한다면, Wiedemann 효과를 이용하여 텐던의 인장력을 자기적이면서 비파괴 검사 방법으로 사용 가능할 것이라고 생각된다.

IV. 결　　론

본 연구에서는 현재 교량에 사용되고 있는 텐던의 인장력을 측정하여 안전진단을 위한 자기적이면서 비파괴 검사 방법을 연구하였다. 최근 자기적 방법으로 사용되고 있는 초기투자율(μ_i)과 증분투자율(μ_Δ) 측정 방법은 텐던의 자기소거상태에서 측정하여야 하는 어려움이 있다.

때문에 이를 보완하기 위하여 본 연구에서는 텐던이 7개의 strand로 꼬여 있는 것을 감안하여, Wiedemann effect를 활용한 방법을 연구하였다. 텐던에 직접 교류 전류를 인가한 후, 텐던에 인장력을 변화시키면서 그에 따른 텐던의 자화 상태의 변화를 텐던에 부착된 탐지코일(Search Coil on Tendon; SCT)로부터 측정하고 분석하였다.

이를 위하여 본 연구에서는 텐던에 인장력을 2 GPa까지 인가 가능한 측정 장치와 텐던에 교류 전류를 300 A_{rms}까지 인가할 수 있는 전류 공급장치를 제작하였다.

실험은 텐던에 교류 전류를 140 A_{rms} 인가한 후, 인장력을 0 MPa에서 1.5 GPa까지 변화시키면서 인장력에 따라 유도되는 기전력의 변화를 텐던에 부착된 탐지코일로부터 측정하였으며, 비교실험을 위해 두 제조회사로부터 제작된 동일한 규격의 텐던을 사용하였다.

측정 결과, 인장력에 따른 유도기전력의 변화가 비교적 선형적으로 감소함을 알 수 있었고, 이는 인장변형력에 의하여 자화 용이축이 축 방향에서 벗어나기 때문에 축 방향의 자기유도성분이 감소 한 것으로 생각된다.

따라서 텐던에 탐지코일을 부착하여 제작한 텐던을 신설되는 교량에 적용한다면, Wiedemann 효과를 활용하여 교량의 안전 진단을 위한 자기적이면서 비파괴적 검사 방법으로 적용 가능할 것이라고 생각된다.

감사의 글

본 연구개발을 위하여 2016년 한남대학교 학술연구조성비에 의하여 일부 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

References

[1] D. Son, W. I. Joung, D.-G. Park, and K. S. Ryu, J. Magn. **14**, 97 (2009).
[2] K. S. Ryu, Y. T. Park, D. L. Atherton, and L. Clapham, J. Korean Soc. Nondestructive Testing **23**, 263 (2003).
[3] A. Jarosevic, Nato ASI Series 3 High Technology **65**, 107 (1998).
[4] B. Fernandes, J. D. Wade, D. K. Nims, and V. K. Devabhaktuni, Research in Nondestructive Evaluation **23**, 46 (2012).
[5] Carl Heck, Magnetic Materials and their Applications, Butterworths, London (1974) p. 8.
[6] S. Kang, C. Joh, J. Lee, and D. Son, Digests of the KMS 2015 Summer Conference **25**, 166 (2015).