

압연 강재의 경도 · 소성 변형률 상관관계 검사법

Hardness-Plastic strain correlation test method for rolled steel

○양 재 영* 최 재 혁** 송 민 호***
Yang, Jae-Young Choi, Jae-Hyouk Song, Min-Ho

Abstract

Non-destructive hardness testing methods are being developed to identify damage to aged steel structures. In this study, the relationship between the hardness and plastic strain of periodically deformed members was established through monotonic loading experiments on steel panels to detect damage to steel materials. As a result of the experiment, it was confirmed that there was more than twice the difference between the rebound hardness value in the elastic region and the rebound hardness value in the plastic region. Through this, we established the relationship between the hardness of steel and plastic strain, and used this to test rebound hardness measurement as a non-destructive damage detection method for maintenance of steel structures.

키워드 : 철골 구조물, 유지관리, 비파괴 경도 시험, 반발 경도 측정

Keywords : steel structure, maintenance, non-destructive hardness testing, rebound hardness measurement

1. 서론

1.1 연구의 목적

현재 강구조물에 대한 손상검사는 대부분 육안검사를 위주로 진행되고 있으며, 균열이 의심되는 부분 등에 대해서는 비파괴검사를 실시하고 있다. 하지만 현재 시행되고 있는 비파괴검사 기술을 대규모 구조물에 대해서는 적용하기에 많은 어려움이 있다. 또한 조사자의 육안검사로는 미세한 균열을 확인하기 어렵고, 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 따라 일부분에 대한 비파괴검사를 근거로 전체 구조물의 안전성을 판단하는 것은 상당한 오류가 있다.^[1] 이러한 문제점을 보완하기 위하여, 다양한 비파괴 검사 기술이 연구되고 있다. 본 연구에서는 강재의 변형에 따른 경도 측정을 통해 소성 · 변형률 상관관계를 확인하고자 한다. 금속의 소성변형을 측정하는 비파괴적인 방법인 경도측정은 1900년대 초반부터 사용되어 왔습니다. 이러한 경도측정은 초기 단계에서는 측정 재료를 1mm 이상의 깊이로 압입하여 측정하기 때문에 비파괴 검사 방법으로는 구분하기에 어려움이 있었습니다.

* 조선대 건축공학과 연구원, 공학석사

** 조선대 건축공학과 교수, 공학박사

*** 조선대 건축공학과 학사과정

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Chosun University, jh_choi@chosun.ac.kr)

본 연구는 2021년 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20017750)

이러한 문제점은 탄성반발을 이용한 휴대용 경도 측정기의 개발로 휴대성 문제가 해결되었습니다.^[2] 본 연구에서는 열간압연 H형강 스틸패널의 소성 변형률을 측정하기 위해 휴대용 경도 측정기(모델 JH180)를 사용하였습니다.



그림 1. 휴대용 경도 측정기

2. 실험계획 및 장비

2.1 실험체 계획

본 실험에서는 압연 H형강을 이용하여 패널존 실험체를 제작하였다. 강재 단면 규격으로는 H-244x175x7x11의 강재를 사용하였다. 에너지 흡수 구간인 패널부의 크기의 폭은 244mm 높이는 300mm이며 패널부 상하에 20mm 두께를 갖는 엔드플레이트가 필렛용접으로 구성된다. 실험체 상세는 그림 2와 같다. 실험체 명은 'S' 는 Steel을 나타

내며 ‘P’ 는 panel을 의미한다.

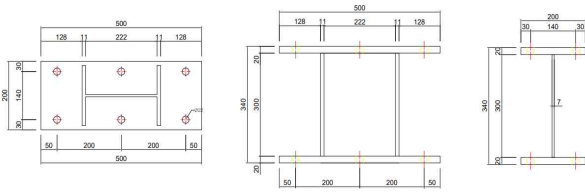


그림 2. Detail of test set-up

2.2 실험방법

가력 실험을 위해 스틸패널 가력부에 최대 200mm, 500 kN 용량의 액추에이터를 이용해 정적가력실험을 수행할 수 있게 설치하였다. 하중은 강체거동을 하도록 제작된 가력보(Loading Beam)에 의해 패널로 전달된다. 실험 시 부재의 횡방향 좌굴 방지를 위하여 실험체 상단부에는 면의 변형을 억제하기 위해 횡변형 구속기구(Lateral Restraint)를 설치하였고, 실험체 형상을 그림 3.에 나타내었다.



그림 3. 실험체 형상

가력방법은 한 방향에 따른 누적 손상을 반영하기 위하여 단조가력재하 실험을 적용하였으며, 부재 경간 300mm에 따른 0.1rad까지 가력을 사용하였다. 그림 4.에서 가력 패턴을 확인할 수 있다.

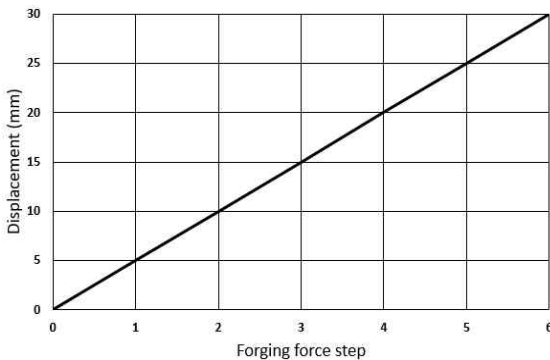


그림 4. 하중가력 패턴

2.3 측정방법

변형률에 따른 강재 경도 상관관계 측정을 위해서는 실험

부재에 대한 반발경도의 측정 위치가 동일해야 한다. 스틸 패널의 Web 부분을 측정하기 위해 가로 방향은 A, B, C, D, E 로 다섯 개로 구분하였고, 세로 방향으로는 위에서부터 Top1, Top2, Mid, Bot2, Bot1으로 구분하여 가로 방향과 세로방향이 교차하는 부분을 표기하여 측정하였다. 본 실험에서 측정 위치 모습을 그림 5.와 그림 6.에 나타내었다.



그림 5. 강재 패널 경도 측정 위치

2.4 표면 거칠기 효과

본 연구에서는 정확한 경도 측정 시험 결과를 얻기 위해서 시험 시편의 표면 거칠기에 따른 경도 측정 결과를 확인하였다. 경도 측정기 원리가 추나 해머를 일정한 높이에서 시험면에 낙하시켜 튀어 오른 높이에 따라 경도를 측정하는 것으로 표면에 이물질이나 표면 도포가 없는 상태에서 측정을 수행해야 정밀한 데이터를 얻을 수 있다. 표면처리는 글라인더를 사용하여 진행하였고, 글라인더 사용 후 표면은 알코올 거즈를 이용하여 처리하였다. 표면 처리 전과 후의 경도 측정 결과에 대해 그림 6.에 나타내었다. Top1과 Bot1에서는 17.73과 17.86이 측정되었고, Top2와 Bot2에서는 30.4와 36.4가 측정되었으며, Mid에서는 30.33이 측정되었다. 압연 H형강 특성상 대칭되는 형식의 경도값을 확인할 수 있었다.



그림 6. 실험체 표면 처리 전·후 형상

표1. 표면처리 전·후 경도 측정값

표면 미처리 평균값			비교값	표면처리 평균값		
위치	거리 (mm)	경도		위치	거리 (mm)	경도
Top1	100	356.467	17.734	Top1	100	338.733
Top2	50	370.067	30.4	Top2	50	339.733
Mid	0	374.067	30.4	Mid	0	343.667
Bot2	-50	370.533	36.4	Bot2	-50	334.133
Bot1	-100	357.867	17.867	Bot1	-100	340

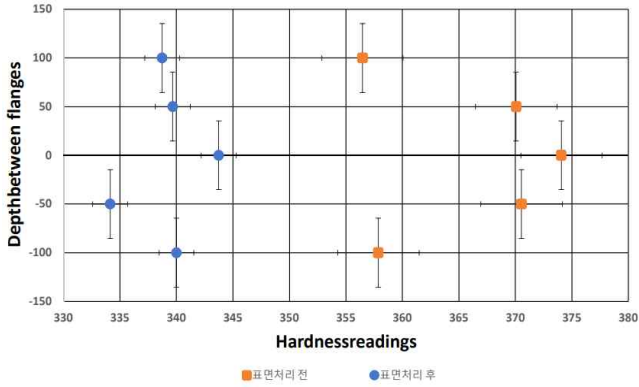


그림 7 표면 처리 전·후 경도 측정 그래프

3. 실험결과

3.1 하중·변위 곡선

단조가력 실험 결과 실험체에 대한 하중·변위 이력곡선을 확인 할 수 있었고, 이력 곡선 형상에 반발경도 측정 시점은 5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 25mm, 30mm에 각각 ↓로 표시하였고, 항복점은 ▼로 표시하였다.

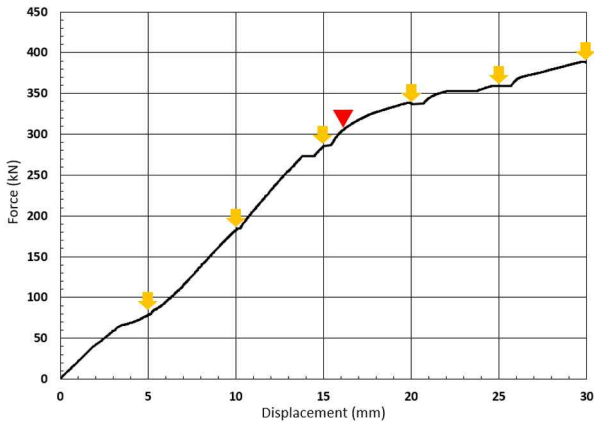


그림 8. 하중·변위 이력곡선

3.2 소성 변형률에 따른 경도 상관관계

본 연구에서는 소성 변형률에 따른 경도 상관관계를 분석하고자 단조가력 실험을 실시하였다. 각 변형 구간의 강제 반발 경도를 측정하였고, 측정 결과 소성 변형률 요구가 증가함에 따라 반발경도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. Web 중앙에서 시험 전 경도 측정기로 측정한 값은 343이었다. 5mm 변형이 진행된 시편의 평균 경도 값은 345, 10mm 변형이 진행된 시편의 경우 347.3, 15mm 변형이 진행된 시편의 경우 348.6, 20mm 변형이 진행된 시편의 경우 358, 25mm 변형이 진행된 시편의 경우 364.6, 30mm 변형이 진행된 시편의 경우 373.4의 결과를 확인할 수 있었다. 변형률이 증가할수록 경도 값이 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 변형률에 따른 경도 값은 그림 9에 나타내었다.

강재패널 실험체의 경우 실험이 진행됨에 따라 패널 존

부위가 가력에 의해 우측 상단부와 좌측 하단부에 Tention Filed 형태의 면외좌굴이 발생하였다.

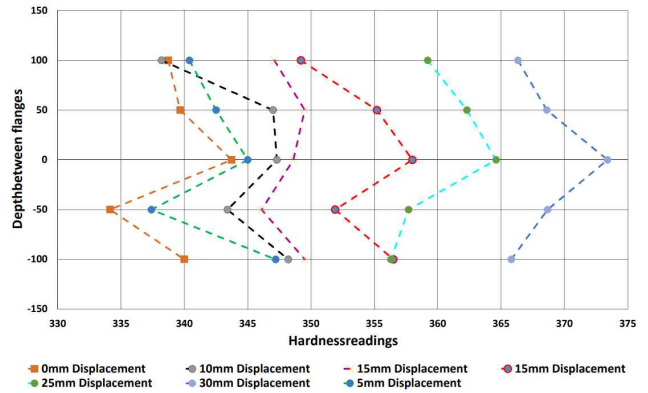


그림 9. 변형률에 따른 경도 측정값



그림 10. 실험체 변형 형상

4. 결론

4.1 하중·변위 곡선

1) 강재의 정확한 반발경도 비파괴 검사를 위해 표면 거칠기 효과를 통한 측정 정확도 비교를 수행하였다. 표면 처리 전과 표면처리 후의 반발경도 측정값을 비교해보면 Top1-17.734, Top2-30.4, Mid-30.4, Bot2-36.4, Bot1-17.867로 표면 처리 후의 반발경도값이 더 높은 정확도를 확인 가능하였다.

2) 단조가력을 통해 실험체의 변형률이 증가할수록 경도값이 점차 상승하는 것을 확인할 수 있었고, 단조가력 15mm 부근에서 부재의 소성변형이 진행되는 것을 하중·변위 이력곡선에서 확인할 수 있었다. 이에 대한 경도 값을 확인해 보면 탄성영역에서 경도값은 2 ~ 3 정도의 차이가 있지만 소성영역 이후에는 경도값이 5 ~ 8 정도로 2 배 이상 커지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 강제 패널 특성상 Tention Filed Action이 진행되면서 중심부에 가장 큰 변형이 발생하기 때문에 경도 값 또한 중심부에서 가장 큰 값을 얻을 수 있었다.

3) 본 연구에서는 단조가력 실험을 통한 강제 패널존 실험체의 변형률과 경도값의 상관관계를 확인하고자 실험을 진행하였다. 변형률이 증가할수록 경도값이 점차 증가

는 것을 확인할 수 있었고, 탄성영역에서보다 소성영역에서
의 경도 증가 값이 높아지는 것을 이용하여 강재의 경
도 측정 값을 주기적으로 측정하여 경도 증가 값과 증가
분포에 따른 강재의 변형률 상관관계를 활용하고자 한다.

참고문헌

1. 김한선,김주원,유병준,김원규,and 박승희. “강구조물 진
단을 위한 누설자속 기반 강관 손상의 이미지화.” 한국
구조물진단유지관리공학회 논문집 23.7 (2019): 129-136.
2. Nashid, H.; Ferguson, W.; Clifton, G.; Hodgson, M.;
Battley, M.; Seal, C.; Choi, J. Non-Destructive Method to
Investigate the Hardness-Plastic Strain Relationship in
Cyclically Deformed Structural Steel Elements. BNZSEE
2014, 47, 181-189.
3. 양재영. “강구조물 유지관리를 위한 정밀 손상탐색 기
술에 관한 연구.” 국내석사학위논문 조선대학교 대학원,
2024. 광주