

인장력 측정용 턴버클의 극한강도 및 설계방법

이 수 현¹⁾ · 신 경 재^{2)*} · 이 희 두³⁾

¹⁾ 연구원, 경북대학교, 건축·토목공학부 ²⁾ 교수, 경북대학교, 건축·토목공학부 ³⁾ 박사과정, 경북대학교, 건축·토목공학부

Ultimate Strength and Design Method of Turn-buckle for Measuring Tensile Force

Lee, Swoo Heon¹⁾ Shin, Kyung Jae^{2)*} Lee, Hee Du³⁾

¹⁾ Researcher, School of Architecture and Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea

²⁾ Professor, School of Architecture and Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea

³⁾ Ph.D. candidate, School of Architecture and Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea

ABSTRACT : A turn-buckle is capable of adjusting the tensile force by left-hand threads and right-hand threads between tension members. There are different types of turn-buckles according to tension member and connection form but the practical and existing turn-buckles are incapable of measuring the tensile force. A turn-buckle for adjusting and measuring tensile force has therefore been developed. This study shows the ultimate strength and reliability for measurement of the new turn-buckles through finite element analysis of the developed ones. From analytic results of the new turn-buckles which have the measurement limit loads of 100kN, 200kN and 300kN, the ultimate strength is approximately five times stronger than the measurement limit capacity. Additionally, a review of the new turn-buckle, which has the measurement limit load of over 300kN, shows that there is a tendency for the size of turn-buckle to become larger. So the connection devices were designed and the loading test was conducted from the concept that the parallel connection of turn-buckle with 300kN capacity can measure the tensile force of 600kN. The results of parallel loading test show the sufficient possibility. Furthermore, the mock-up test was constructed to investigate the release of initial load and corrosion when the new turn-buckle is installed at the outdoor and exposed to rain and atmosphere.

KEYWORDS : turn-buckle for measuring tensile force, measurement limit load, ultimate strength, reliability, parallel connection, temperature effect

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

인장재로 구성되어 구조물이 지지되는 인장구조물에서 인장재는 인장력의 물리적 특성상 재료의 성능을 최대한 효율적으로 활용하기 때문에 현대사회에서 요구되는 대형공간에

경제적 설계가 가능하고, 강성이 있는 부재와 없는 부재를 모두 사용가능하기 때문에 형태의 구성에서도 개방적이고 투명한 장스팬의 대형공간을 가능하게 하는 역할을 한다^[1].

하지만 이런 인장구조시스템에서 인장응력은 당겨지는 힘의 원리상 영구변형이 생기기 쉽고 당김력의 정착이 특수하게 요구되는 특성을 가지므로 장력을 안정시키고 정착구조를 구성하는데 경제적으로나 시공적으로 불리한 성질을 가지기도 한다^[2]. 추가적으로 인장구조물의 인장부재에 작용하는 장력을 유지하고 관리하는 것도 쉬운 일이 아니기에 이에 대한 연구를 진행해왔다. 작용된 초기인장력은 시간의 흐름에 따라 변하게 되므로 이를 지속적으로 관리하고 변화된 장력을 조절할 수 있는 장치가 필요하다. 로드셀이나 스트레인게이지, 진동측정법 등을 이용하여 장력을 측정할 수는 있지만, 전자장비를 동원해야하는 번거로움 및 초기값 관리의 어려움 등

Note.-Discussion open until August 31, 2013. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on October 12, 2012; revised January 9, 2013; approved on February 6, 2013.
© KSSC 2013

* Corresponding author

Tel. +82-53-950-5591 Fax. +82-53-950-6590
E-mail: shin@knu.ac.kr

의 문제점이 있다. 이에 인장재에 작용하는 장력을 측정할 수 있는 장치(이하, '측정용 턴버클 혹은 New turn-buckle')를 개발하였다^{[3],[4],[5],[6],[7]}. 본 논문에서는 기 개발된 100kN, 200kN, 300kN 용량의 측정용 턴버클^{[4],[8]}의 비선형유한요소해석을 통하여 극한강도를 평가하고, 추가적으로 현장에 턴버클을 설치하기 위한 설계방법을 제안하고자 한다.

1.2 측정용 턴버클의 원리

현재 상용적으로 사용되는 일반적인 턴버클은 인장재의 종류 및 연결 형태에 따라 다양하게 제작되어 유통되고 있지만 그 원리는 턴버클의 회전에 따라 윈나사/오른나사에 의해 인장재가 당겨지는 것이다. 측정용 턴버클도 이 원리를 기본으로 하고 Fig. 1과 같이 턴버클 단부의 장력에 의해 몸통부의 간극부(측정부)가 줄어들도록 하였다. 이 간극부는 이전연구^{[3],[4],[6],[7]}를 바탕으로 측정안전율을 도입하여 산정하였고, 간극부의 크기는 미소하기 때문에 측정부를 두어 버니어캘리퍼스 등의 측정도구를 이용하여 간극의 변화를 측정할 수 있도록 하였다. 간극부의 측정값은 Table 1과 같이 제공되는 하중변환표를 통하여 인장력으로 환산된다.

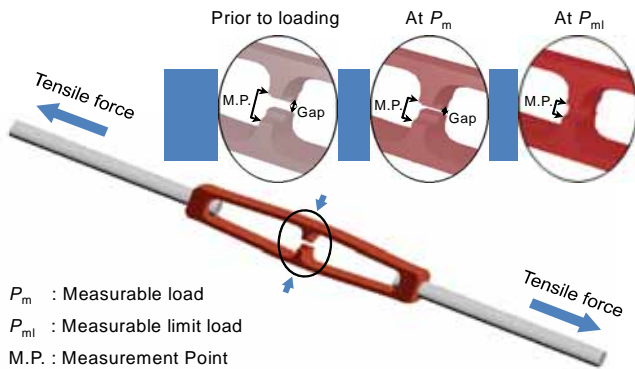


Fig. 1 Shape and Principle of New Turn-Buckle

Table 1. Load-Gap Size Sheet of New Turn-Buckle with 200kN Capacity

Load (kN)	Gap (mm)	Load (kN)	Gap (mm)	Load (kN)	Gap (mm)
0	20.00	70	19.06	140	18.20
10	19.86	80	18.94	150	18.10
20	19.72	90	18.82	160	17.99
30	19.58	100	18.69	170	17.87
40	19.45	110	18.57	180	17.77
50	19.33	120	18.45	190	17.66
60	19.19	130	18.34	200	17.55

2. 측정용 턴버클의 설계

Fig. 2는 200kN급 측정용 턴버클의 유한요소해석결과이다. 실제로 하중이 증가함에 따라 종변위는 증가하고 횡변위(간극부 변위)는 제작된 간격에서 감소하여 “0”에 다다르게 되지만 횡변위의 변화를 “0”에서부터 제작된 간격까지 증가하는 곡선으로 표현하였다. 횡변위 곡선에서 간극부의 간극이 “0”이 되는 (또는 간극부가 맞닿는) 하중을 측정한계하중(B점, P_{ml})이라 칭하고, 이 하중보다 큰 하중에서는 측정의 기능은 상실하지만 일반 턴버클과 같이 거동할 수 있도록 하였다. 간극부가 맞닿는다는 것은 턴버클의 휨항복을 방지하고, 하중이 제거되었을 시에 탄성회복하도록 하기 위한 것이다. 횡변위의 증가는 간극부가 맞닿으면서 더 이상 증가하지 않고 하중만 증가하는 형태로 나타나게 된다. 측정한계하중보다 작은 하중 상태에서만 실제로 측정이 가능하고 이 구역을 측정하중(A영역, P_m)으로 하고, $P_s = 1.0DL + (0.1 \sim 0.5)LL$ 에 해당하는 하중이 된다^[8].

측정한계하중을 초과하여 계속 증가할 경우 인장항복하는 항복하중(C점, P_y)점이 나타나고 이 하중 이하에서 측정용 턴버클에 하중이 제거되면 다시 측정기능을 회복할 수 있으나 항복하중을 초과할 경우에는 하중이 제거되더라도 휨변형부의 소성변형으로 간극부에 잔류변형이 발생하게 된다. 항복하중점은 인장재 소요인장강도(예: $P_u = 1.2DL + 1.6LL$) 이상이 되도록 하고 항복점을 초과하여 하중이 증가하면 극한하중(D점, P_u)에 이른 후 파괴된다. 측정용 턴버클의 극한하중은 연결되는 인장재의 극한하중보다 크게 제작 설계되어 극한하중시 인장재 파단이 일어나도록 설계되어야 한다^[8].

측정용 턴버클은 인장재 설계시 손쉽게 적용이 가능하다. 소요인장강도(P_u)와 비교하여 측정 가능한 용량의 측정용 턴버클을 선택, 인장재의 설계에 사용할 수 있다. 즉, 소요인

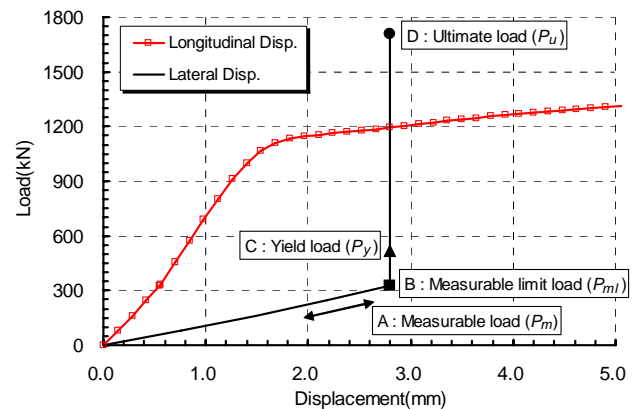


Fig. 2 Behavior of New Turn-Buckle and Load Definition

장강도에 따른 측정용 턴버클의 측정영역과 측정한계하중 및 항복하중의 영역을 정하여 적합한 측정용 턴버클을 설계한다. 소요인장강도는 작용하는 하중의 불확실성과 잠정적인 과도한 하중의 작용을 고려한 강도한계상태의 하중조합을 소요인장강도로 정하고, 소요인장강도의 하중조합에 따른 측정용 턴버클의 설계 방법을 Table 2, Fig. 3과 같이 제시한다^[8].

Fig. 3은 소요인장강도에 따른 측정용 턴버클의 측정상태를 나타낸 것이다. 소요인장강도를 한계상태하중(I), 사용하중(II)과 측정하중(III)의 3단계로 분류하여 측정용 턴버클의 범위 내에 분포하도록 설계한다. 한계상태하중은 강도한계상태 하중조합(1.2DL+1.6LL)으로 측정용 턴버클의 항복하중(P_y)이하로 설계하며, 측정한계하중의 115~145%의 범위에 들어오도록 한다. 사용하중은 사용성한계상태 하중조합(1.0DL+1.0LL)으로 측정한계하중에 분포하도록 설계하며, 사용성한계상태 하중조합 이하의 하중을 측정하중으로 분류하여 측정한계하중 이하의 측정영역에서 측정할 수 있도록 한다^[8].

Fig. 4는 인장재와 측정용 턴버클의 설계흐름도이다. 인장재의 설계는 종단면의 항복과 유효순단면의 파단이라는 두 가지 한계상태에 대해 검토하며, 각 강도한계상태와 사용성한계상태 하중조합을 고려하여 측정용 턴버클을 선택한 후 인장재의 파단과 측정용 턴버클의 파단을 비교하여 설계한다.

Table 2. Design Load of New Turn-Buckle according to Load Combination

Load Combination	Definition of Load	Applied Load (P) Measurable Limit Load (P_{ml})
1.2DL+1.6LL	Limit state load (I)	115~145%
1.0DL+1.0LL	Service load (II)	85~115%
1.0DL+0.25LL	Measurable load (III)	0~85%

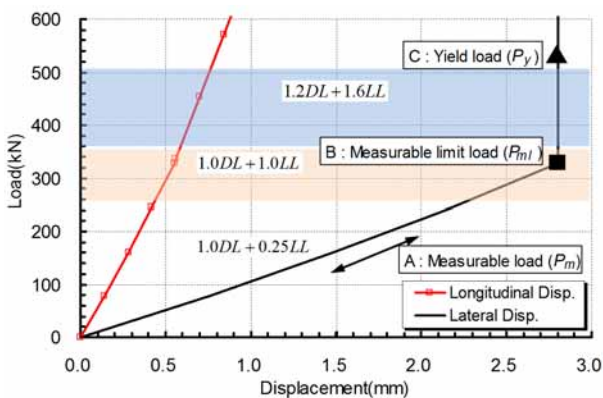


Fig. 3 Design Load of New Turn-Buckle with 200kN Capacity according to Load Combination

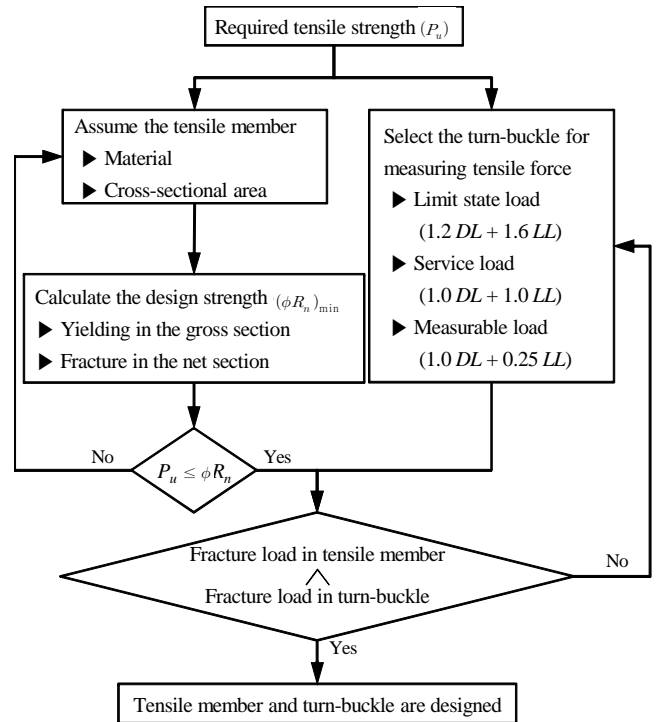


Fig. 4 Design Flow Chart

3. 유한요소해석

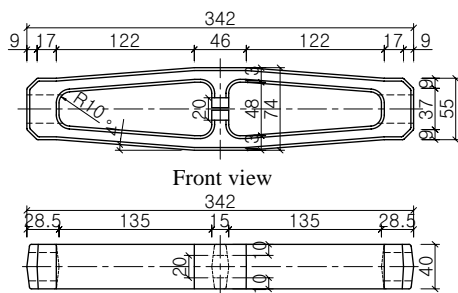
Fig. 5와 Table 3의 턴버클의 치수(전체크기 및 간극부 크기 등)와 형태는 신경재 등^[4]에서 수행한 변수해석, 실험 결과를 바탕으로 결정된 값이다. Table 3에서 간극부 크기가 “∞”로 표현된 실험체는 실제로 그 크기가 무한대는 아니지만, 턴버클의 인장가력에 의하여 파괴가 일어나기까지 간극부가 맞닿지 않도록 설계된 것을 뜻한다. Table 4의 재료성능은 제작된 각 용량의 측정용 턴버클에서 발췌한 비례시험편으로부터 인장시험을 통하여 얻은 결과값이다^[4].

비선형 유한요소해석 프로그램 ABAQUS^{[9],[10],[11]}를 사용하여 Fig. 6과 같이 1/2만을 모델링하고 경계조건을 가정하였다. 유한요소해석 모델은 실험과 비교를 통하여 검증되었으며^[4], 이를 바탕으로 극한하중을 판단하기 위한 해석을 실시하였다. 한쪽 끝단에 로드셀 역할의 트러스 요소를 접합하고 “Equation” 명령어를 사용하여 모델의 길이방향으로의 상대변위를 제어하여 가력하도록 하였다. 간극부 간격이 줄어서 “0”이 되는 것을 강체로 가정된 “Contact Surface”를 모델링하여 표현되도록 하였다. 또한 맞닿은 간극부의 관통을 표현하기 위하여 “Master Surface”, “Slave Surface”를 사용하였다. 절점에 3개의 자유도를 가지고, Integration point가 하나인 C3D8R 요소를 사용하였고, 반복적인 해석을 통하여 횡변형부의 두께방향으로는 5~6개 레이어가 적절한 해석값

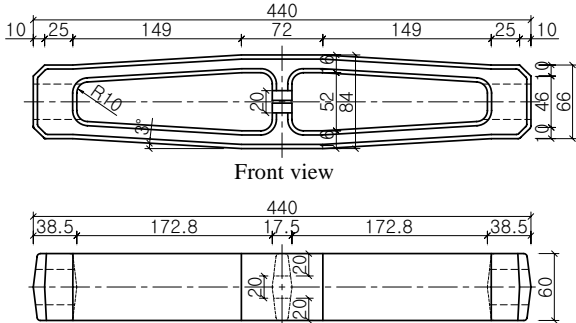
을 나타내는 것으로 판단되었다^{(4),(6),(7),(8)}. Table 3의 실험체 중에서 간극부가 “∞”로 표현된 것은 이 “Contact Surface” 없이 해석되도록 하였다. 재료물성치는 Table 4의 값을 이용하여 Cauch의 정리에 의한 진응력, 진소성변형률의 Eqs.1 과 2를 적용하였고, 탄성계수 E 는 205000MPa, 푸아송비 ν 는 0.3으로 하였다.

$$\sigma_{true} = \sigma_{nom} (1 + \epsilon_{nom}) \tag{1}$$

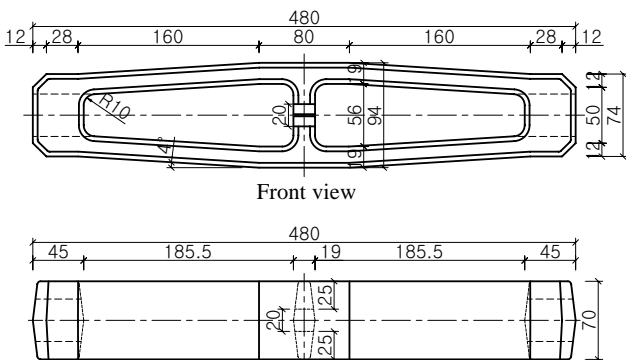
$$\epsilon_{ln}^{pl} = \ln(1 + \epsilon_{nom}) - \sigma_{true} / E \tag{2}$$



(a) 100kN Capacity



(b) 200kN Capacity



(c) 300kN Capacity

Fig. 5 Dimensions of New Turn-Buckle

Table 3. Summary of Specimen (unit : mm)

Specimen*	Width	Depth	Length	Gap
TB100-2.4	74	40	342	2.4
TB100-∞				∞
TB200-2.7	84	60	440	2.7
TB200-∞				∞
TB300-2.7	94	70	480	2.7
TB300-∞				∞

*TB100-2.4 : 100-measurable limit load (kN)
2.4-gap size (mm)

Table 4. Material Test Results

Coupon	F_y (MPa)	F_u (MPa)	F_y/F_u	Elongation (%)
100kN	545.2	835.0	0.7	19.9
200kN	616.5	843.8	0.7	17.8
300kN	524.4	839.0	0.6	17.9

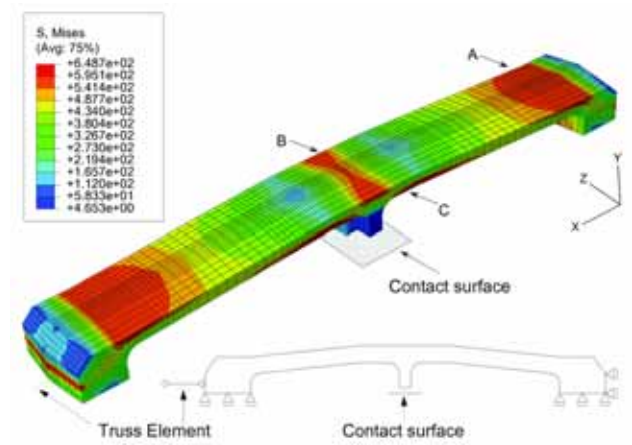


Fig. 6 von Mises Stress and Support Condition

Fig. 7~9을 보면, Fig. 2에서 언급되었듯이 하중 변위 곡선에서 간극부가 존재하는 모델에서는 황변위는 간극부가 맞닿은 이후에는 하중만이 증가하는 형태로 나타나고, 길이방향 변위는 간극부가 맞닿은 이후에도 인장변형을 하면서 최대 내력에 도달하게 된다. Table 5에 요약된 것과 같이 100kN 급 턴버클의 경우, 항복하중(P_y)과 측정한계하중(P_{ml})의 비율이 1.48로 극한하중(P_u)과 측정한계하중의 비율이 6.06으로 나타나고 있다. 200kN급 턴버클의 경우는 2.45와 5.64로, 300kN급 턴버클은 1.58과 5.21정도로 각각 나타나 3가지 용량의 턴버클 모두 극한하중과 측정한계하중의 비율이 5배 이상으로 나타남을 알 수 있다.

간극부가 ∞인 모델의 경우, 간극부가 존재하는 모델에서의 측정한계하중(P_{ml})까지는 같은 거동을 보이고, 이후에

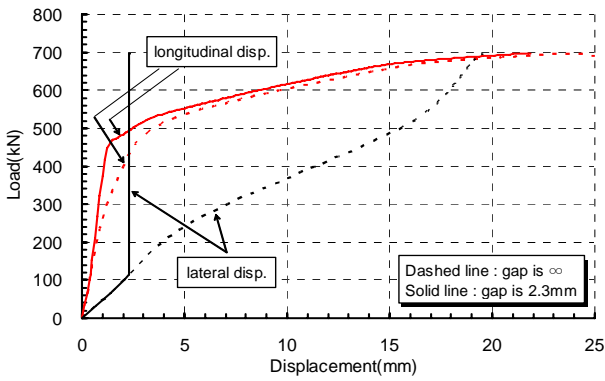


Fig. 7 Load-Displacement of Turn-Buckle with 100kN Capacity

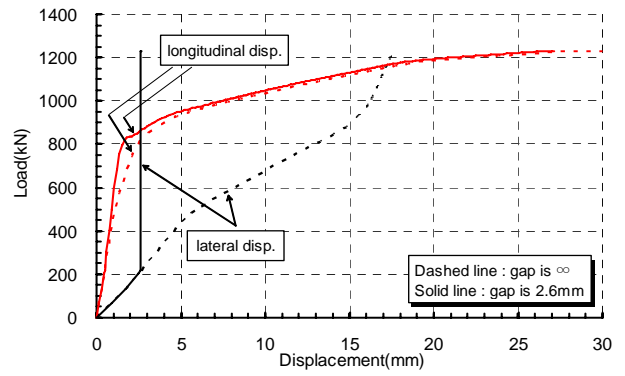


Fig. 8 Load-Displacement of Turn-Buckle with 200kN Capacity

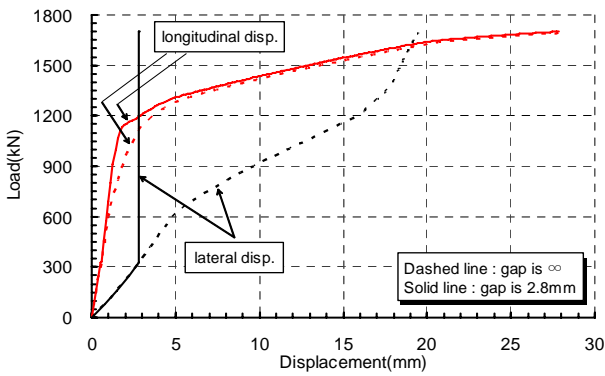


Fig. 9 Load-Displacement of Turn-Buckle with 300kN Capacity

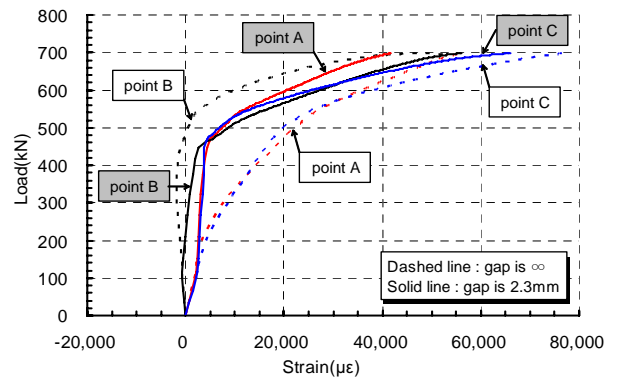


Fig. 10 Load-Strain of Turn-Buckle with 100kN Capacity

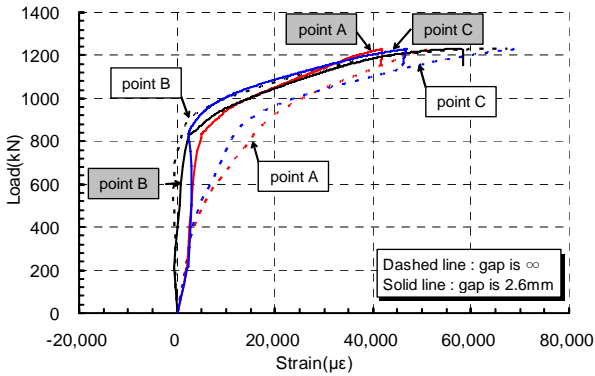


Fig. 11 Load-Strain of Turn-Buckle with 200kN Capacity

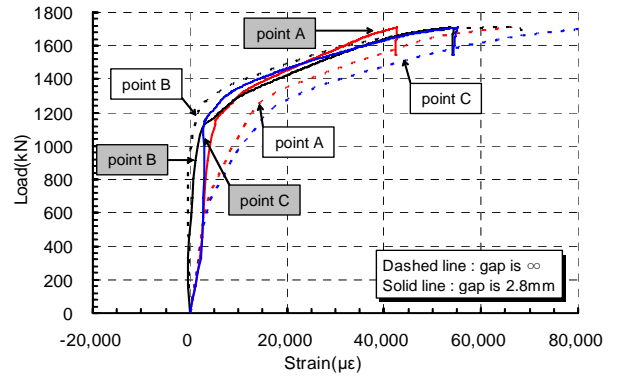


Fig. 12 Load-Strain of Turn-Buckle with 300kN Capacity

항복하중 (P_y)까지는 선형탄성적으로 변화하다가 비선형변형으로 변화하는 것을 확인할 수 있다.

100kN급 턴버클의 하중-변형률 곡선인 Fig. 10에서 간극부가 존재하는 모델(직선 그래프)의 경우, B점 부근에서는 초기에 압축변형을 하다가 간극부가 맞닿은 후에 인장변형으로 전환되고 450kN 부근에서는 턴버클의 중앙부인 B, C 부근의 인장변형이 더욱 커지면서 파괴에 이르는 것으로 판

단된다. Fig. 11과 12의 200kN, 300kN급 모델도 이와 비슷한 경향을 보이면서 최대내력에 도달하였고, 하중이 감소하는 시점을 각 모델의 극한강도로 정의하였다. 턴버클은 기본적으로 휨거동을 하기 때문에 간극부가 있을 때보다 없을 때 초기 항복에 이르지만, 파단은 단면이 인장파괴로 일어나기 때문에 간극부의 존재 유무에 관계없이 극한하중은 거의 유사하게 나타난다.

Table 5. Load Capacities and Safety Ratio of New Turn-Buckles

Specimen	Measurable Limit Load P_{ml} (kN)	Yield Load P_y (kN)	Ultimate Load P_u (kN)	$\frac{P_y}{P_{ml}}$	$\frac{P_u}{P_{ml}}$
TB100-2.3	115	170	697	1.48	6.06
TB100-∞	-	143	698	-	-
TB200-2.6	218	535	1230	2.45	5.64
TB200-∞	-	365	1231	-	-
TB300-2.8	328	518	1710	1.58	5.21
TB300-∞	-	470	1712	-	-

4. 고장력 측정용 병렬시스템

본 연구에서 제시한 측정용 턴버클은 휨변형에 의하여 변형되기 때문에 고장력을 측정하기 위해서는 그 크기가 상대적으로 많이 커지는 경향이 있다. 따라서 300kN이 넘는 고장력을 측정하기 위해 300kN급 측정용 턴버클과 Fig. 13의 나사식 커플러 및 구좌 등을 사용하여 Fig. 14와 같이 병렬 연결로 설치하였다.

병렬연결 시스템은 전체인장력이 병렬로 연결된 측정용 턴버클과 나사식 커플러에 균등하게 분배되어 단일 측정용 턴버클 측정하중의 2배의 인장력을 측정할 수 있도록 하였다. 이러한 시스템은 병렬로 연결된 부재가 동일한 힘을 받도록 설치하여 측정기로 사용될 수 있다. 가력초기에는 동일하게 병렬연결된 부재가 같은 힘을 받더라도 가력시 두 부재가 동일한 길이로 변형하지 않으면 측정오차가 발생하게 된다. 측정용 턴버클은 휨변형에 따른 길이방향의 변형이 크고 나사식 커플러는 축강성이 커서 변형량이 적게 된다. 이러한 불균등 변형에 의한 측정오차의 최소화가 필요하다. 따라서 측정

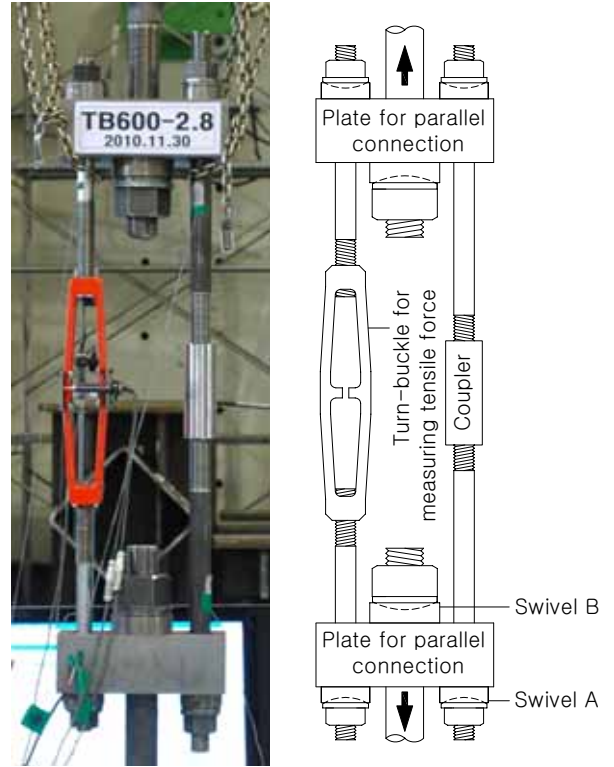


Fig. 14 Set-up of Parallel System

용 턴버클과 나사식 커플러의 길이방향 변형차이에 의한 불균등한 하중분배 및 응력집중 현상을 방지하고자 병렬연결 플레이트의 연결에 Fig. 13(b)와 13(c)의 구좌를 삽입하였다. 구좌의 삽입은 병렬플레이트의 미소한 회전에 의한 강봉의 편심을 최소화하고 측정기와 커플러에 각각 연결된 부재의 하중의 편차를 최소화할 수 있다.

실험은 단일 측정용 턴버클의 실험과 동일하도록 인장재를 UTM 헤드와 UTM 베이스에 연결하고 인장재 사이에 측정용 턴버클과 나사식 커플러를 구좌와 병렬연결 플레이트를 사용하여 설치하였다. 인장력에 따른 휨변위와 국부적인 변형을 측정하기 위해 10mm LVDT와 스트레인게이지를 설치하고 재하(load)와 제하(unload)를 3~4회 반복하였다.

Fig. 15는 병렬시스템에 작용한 전체인장력과 300kN급 측정용 턴버클에 작용한 인장력을 2배로 하여 비교한 하중-변위 곡선이다. 휨변위에서 TB600 실험체의 초기 기울기는 TB300과 같으나 인장력이 작용할수록 기울기가 낮아지게 된다. TB600 실험체의 측정한계하중은 622kN으로 TB300 실험체의 측정한계하중 638kN에 비해 2.5%정도 감소하였다. 이를 통해 병렬연결 시스템에서 측정용 턴버클이 장착된 부분에 편심의 영향으로 하중이 조금 더 가해진 것을 알 수 있다. 하지만 이 영향은 전체인장력에 비해 아주 작고 충분히 무시할 수 있을 것으로 판단된다.

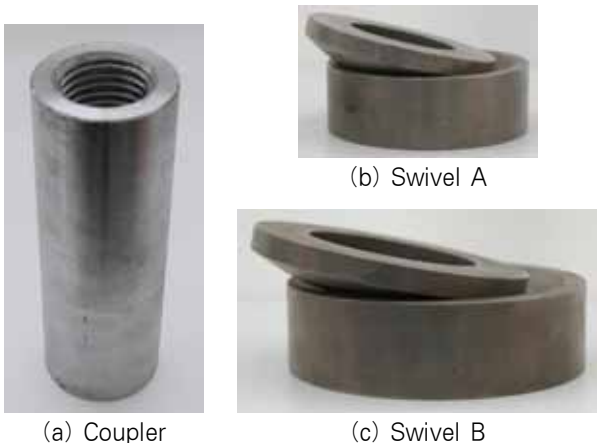


Fig. 13 Component of Parallel System

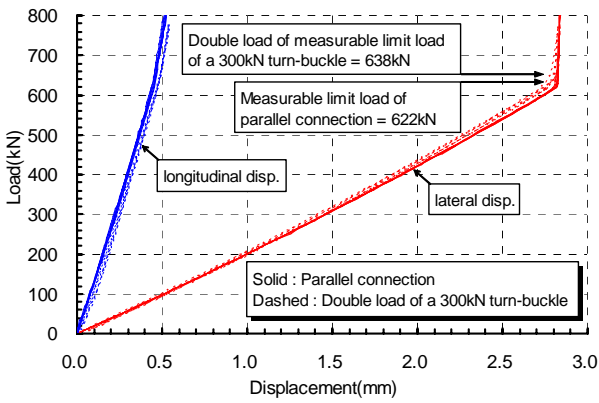


Fig. 15 Comparison of Parallel System and One Turn-Buckle with 300kN Capacity

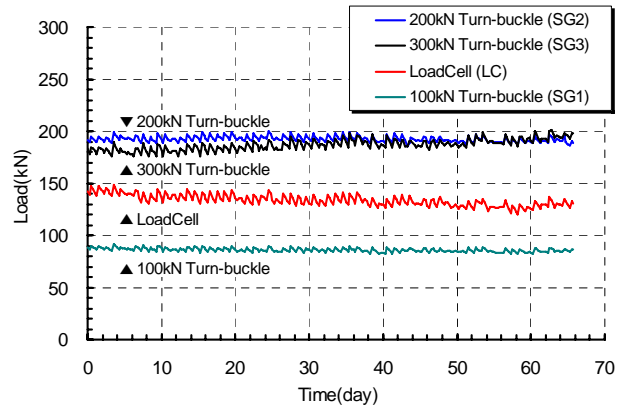


Fig. 17 Release of Load with Time

5. 장기하중/온도환경 실험

측정용 턴버클이 실제 구조물에 적용되어 장기적으로 노출 되었을 때에도 측정기로서의 성능을 발휘할 수 있는지 검토 하기 위하여 Fig. 16과 같이 100kN, 200kN, 300kN 급 측정용 턴버클과 유압실린더를 이용하여 힘의 균형이 이루어진 인장구조물을 설치하였다. 실험데이터는 2010년 10월 19일부터 2010년 12월 23일까지 70여 일간의 측정된 값이다. 데이터로거를 이용하여 6시간마다(02:30, 08:30, 14:30, 20:30) 3가지 용량의 측정용 턴버클에 연결된 강봉의 변형률과 로드셀의 하중변화를 측정하였다. 추가적으로 하루 2번 정도 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정용 턴버클의 측정부의 간극 측정을 통하여 하중변화를 계측하였다.

Fig. 17은 시간의 흐름에 따른 각 용량의 턴버클과 로드셀

의 하중변화를 나타내고 있다. 인장구조물 설계의 실수로 인하여 힘의 평형이 초기 계획대로 이루어지지 않아서 300kN 급 턴버클의 경우는 측정한계용량에 모자라는 180kN 정도로, 200kN급 턴버클과 100kN급 턴버클은 각각 192kN, 89kN 으로 초기 설치되었다. 70여 일 후에 하중의 상태는 100kN급 턴버클은 3%, 200kN 턴버클은 2%, 유압실린더의 로드셀은 9% 감소되었고, 300kN 턴버클은 8% 증대되었다.

Fig. 18은 인장구조물 설치 후 60일~65일 간(12월 말경)의 하중변화를 살펴본 그림이다. 하루 구간의 첫 번째 점부터 02시 30분, 08시 30분, 14시 30분, 20시 30분의 기록 결과를 나타낸다. 14시 30분경이 가장 기온이 높은 시간대로 전체 부재들이 팽창을 하였기 때문에 하중이 크게 나타나고, 08시 30분경이 최저기온상태이므로 하중이 작게 나타나는 경향을 보인다.

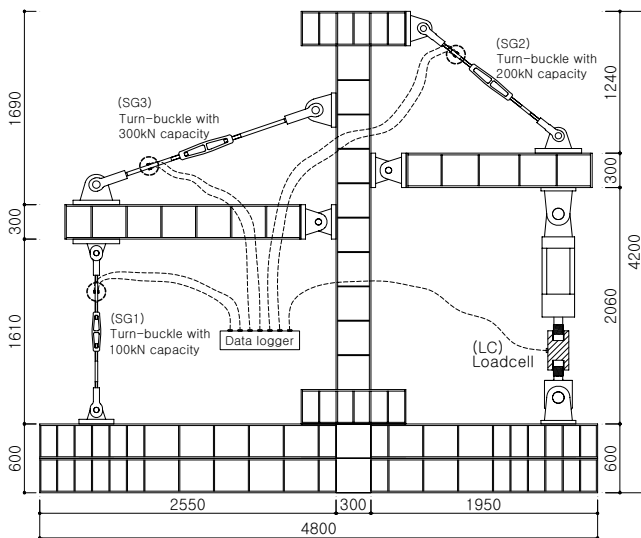
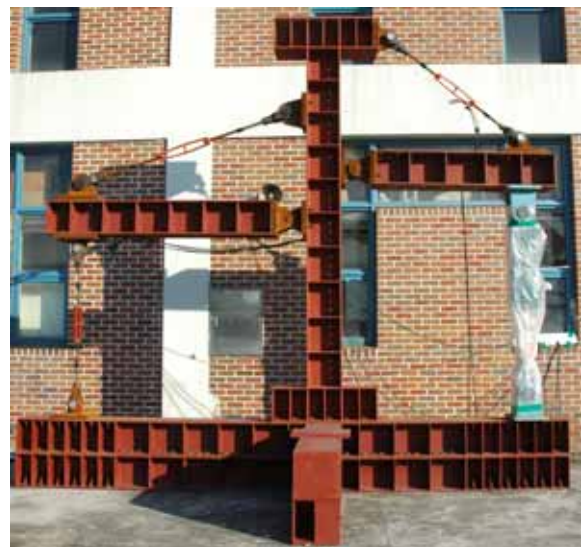


Fig. 16 Mock-up Test Exposed to Atmosphere



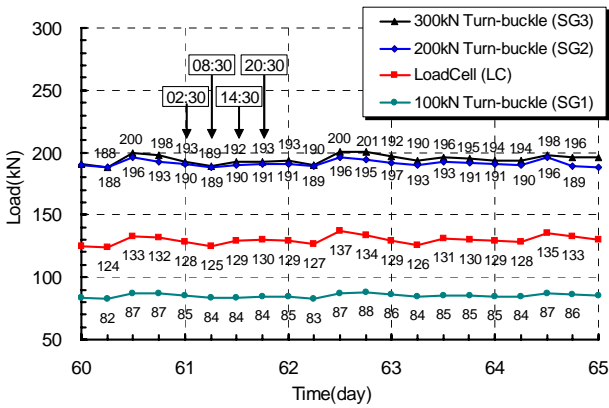


Fig. 18 Release of Load from 60 days to 65 days

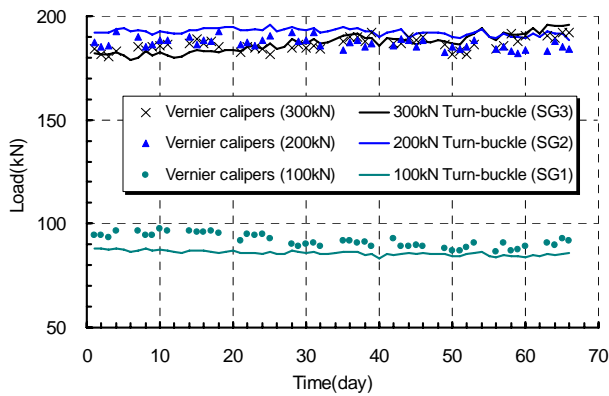


Fig. 19 Comparison of Sensor Values and Measurement Values using Vernier-Calipers



Fig. 20 Gap Part Corroded

Fig. 19에는 스트레인게이지를 이용하여 측정된 하중과 측정부를 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정된 값과의 비교 결과를 나타내며, 대체적으로 10%내의 측정오차를 보이고 있다.

이는 버니어캘리퍼스의 측정한계가 1/20mm임을 감안할 때, 간극부의 미소한 변화 측정이 어려워 0.05mm에 따라 측정하중의 오차가 발생하게 되며 버니어캘리퍼스를 이용한

측정은 측정하는 사람의 측정 자세와 측정 위치에 따라서 오차가 발생할 수밖에 없는 한계점이 있다. 또한 Fig. 20과 같이 간극부의 부식에 의한 정확한 간극의 측정이 불가능한 점을 고려할 때, 10%내의 오차는 허용범위로 간주할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 간극부(측정부)의 부식된 부분은 특수처리가 필요할 것으로 판단된다.

6. 요약 및 결론

기 개발된 인장력 측정용 턴버클의 유한요소를 통한 극한강도평가, 병렬연결 실험, 실험실 규모의 인장구조물을 통한 측정용 턴버클의 온도에 따른 하중변화 및 부식의 정도를 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 유한요소해석결과를 통해 100kN, 200kN, 300kN급 측정용 턴버클의 측정안전율(항복하중/측정한계하중)은 1.5배 이상으로 측정한계의 인장력 이후에도 일반 턴버클과 같은 거동을 충분히 기대할 수 있으며, 극한안전율(극한하중/측정한계하중)은 5.0배 이상으로써 실제 사용시 충분한 안전율을 확보할 수 있도록 설계되었음을 보여주고 있다.
- (2) 300kN 이상의 고장력을 측정하기 위한 병렬연결 시스템의 측정용 턴버클은 단일 측정용 턴버클과 같은 거동을 보이며 충분한 측정능력을 보였다. 이에 측정한계하중의 2배인 600kN의 측정용량을 가지는 병렬측정시스템을 제시하였다.
- (3) 외기에 노출된 인장구조물에 측정용 턴버클을 설치하여 살펴본 결과 부식에 의한 간극부(측정부)의 부식을 막을 수 있는 특수처리가 필요함이 인식되었다.
- (4) 하중조합에 따른 측정용 턴버클의 설계방법을 제시하였다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20120000149).

이 논문은 2012년도 BK21 사업에 의해 일부 지원되었음.

참고문헌(References)

[1] 이주나(2002) 구조로 본 일본건축 답사기 - 인장구조시스템을 활용한 건축물 중심으로, 대한건축학회학회지, 대한건축학회, 제46권, 제3호, pp.54-63.
Lee, J.N. (2002) A Report of Inquiry into Japan

Architecture Considered in Structure - In the Focus of the Architectures Including Tension Structure System, *Review of Architecture and Building Science*, AIK, Vol. 46, No. 3, pp.54-63 (in Korean).

- [2] 이주나(2004) 건축구조계획을 위한 인장시스템의 특성 및 유형분석, 박사학위논문, 충북대학교.
Lee, J.N. (2004) *An Analysis on the Composition Pattern and Character of the Tensile Structure for Architecture Structural Planning*, Ph.D. Dissertation, Chungbuk National University, Korea (in Korean).
- [3] 신경재, 이수현(2006) 인장력 장기 측정기 개발에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제18권, 제6호, pp.759-768.
Shin, K.J. and Lee, S.H. (2006) Development of a tensile force measurement device for long-term, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 18, No. 6, pp.759-768 (in Korean).
- [4] 신경재, 이수현, 이희두(2011) 용량별 인장력 측정용 턴버클의 해석 및 실험, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제23권, 제6호, pp.715-724.
Shin, K.J., Lee, S.H., and Lee, H.D. (2011) Analysis and test for turn-buckle of capacity for measuring tensile force, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 23, No. 6, pp.715-724 (in Korean).
- [5] 이수현, 신경재(2008) 고장력 측정을 위한 턴버클의 실험적 연구, 2008년도 대한건축학회 대구·경북지회 학술 발표대회 논문집, 대한건축학회, pp.141-144.
Lee, S.H. and Shin, K.J. (2008) An experimental study on a turn-buckle measuring high tensile force, *Proceeding of Architectural Institute of Korea, Daegu-Gyeongbuk Branch*, AIK, pp.141-144 (in Korean).
- [6] 이수현, 신경재(2009) 인장력 측정용 턴버클의 실험 및 해석, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제21권, 제2호, pp.183-192.
Lee, S.H. and Shin, K.J. (2009) Test and analysis of a turn-buckle for tensile force measurement, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 21, No. 2, pp.183-192 (in Korean).
- [7] Shin, K.J. and Lee, S.H. (2011) Analysis and test of modified turn-buckles for measuring tensile force, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 67, No. 5, pp.833-840.
- [8] 신경재(2011) 인장력 측정용 턴버클의 설계, 한국건축구조기술사회지, 한국건축구조기술사회, 제18권, 제2호, pp.61-65.
Shin, K.J. (2011) Design of turn-buckle for measuring tensile force, *Magazine of the Korean Structural Engineers Association*, KSEA, Vol. 18, No. 2, pp.

61-65 (in Korean).

- [9] ABAQUS (2000) *ABAQUS/CAE User's Manual*, Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. Version 6.1, USA.
- [10] ABAQUS (1998a) *ABAQUS/Standard User's Manual*, Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. Version 5.8, USA.
- [11] ABAQUS (1998b) *ABAQUS/Viewer user's manual*, Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. Version 0, USA.

부록 : 측정용 턴버클의 설계 예시

아래는 측정용 턴버클의 설계 예를 보여준다. 각 캔틸레버(설계예-1)와 보 보강(설계예-2) 설계과정으로 Table 6의 인장재(강봉) 설계인장강도를 사용하여 인장재를 설계하고, 본문의 Fig. 4의 순서에 따라 측정용 턴버클을 설계한다.

Table 6. Tensile Strength of Steel Rods

Diameter (mm)	A_g (mm ²)	A_e (mm ²)	$A_g F_y$ (kN)	$A_e F_u$ (kN)	ϕP_n (kN)
φ28	646	462	265	259	194
φ34	908	681	390	381	286
φ39	1195	896	514	502	376
φ45	1590	1193	684	668	501

* $F_y = 430\text{MPa}$, $F_u = 560\text{MPa}$

※ 설계예-1

다음 하중이 작용할 때, 인장재와 턴버클을 설계하시오.

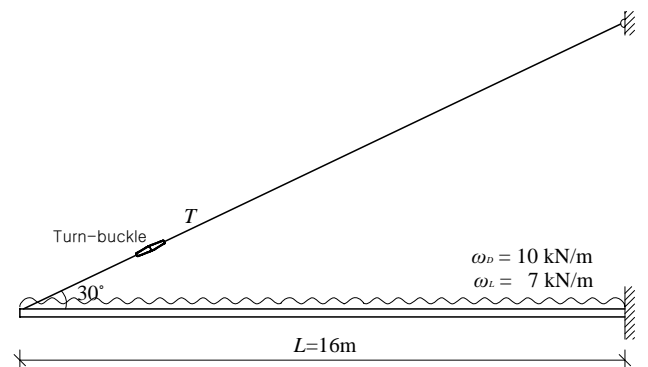


Fig. 21 Cantilever Suspended by New Turn-Buckle

- 1) 인장재에 작용하는 소요인장강도(P_u) 산정

$$DL = 3\omega_D L / 8 \sin 30^\circ = 120\text{kN}$$

$$LL = 3\omega_L L / 8 \sin 30^\circ = 84\text{kN}$$

$$1.2DL + 1.6LL = 278\text{kN}$$

- 2) 인장재 단면 가정
 $\phi 34$ 의 강봉을 사용 ($\phi P_n = 286\text{kN}$, Table A1 참조)
- 3) 설계인장강도의 검토
 $1.2DL + 1.6LL = 278\text{kN} \leq \phi P_n = 286\text{kN}$ (O.K.)
- 4) 하중조합에 따른 소요인장강도
 $1.2DD + 1.6LL = 278\text{kN}$
 $1.0DD + 1.0LL = 204\text{kN}$
 $1.0DD + 0.25LL = 141\text{kN}$
- 5) 턴버클의 용량 선택 - 소요인장강도별 측정용 턴버클 하중측정 분포를 확인한다.
 $1.2DD + 1.6LL = 278\text{kN}$ (139%)
 $1.0DD + 1.0LL = 204\text{kN}$ (102%)
 $1.0DD + 0.25LL = 141\text{kN}$ (71%)
- 6) 파단하중의 비교
 $A_e F_u = 381\text{kN} < 1230\text{kN}$ (측정용 턴버클의 파단하중)
 그러므로 200kN급 측정용 턴버클을 사용한다.

※ 설계예-2

다음 하중이 작용할 때, 인장재와 턴버클을 설계하시오.

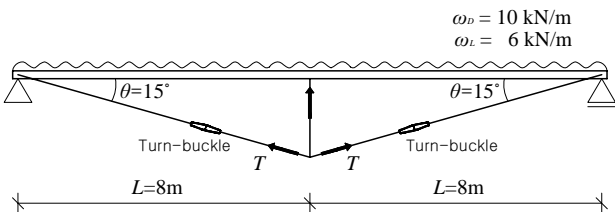


Fig. 22 Simply Supported Beam Suspended by New Turn-Buckle

- 1) 인장재에 작용하는 소요인장강도(P_u) 산정

$$T = \frac{5\omega L}{8} \frac{1}{\sin\theta} \text{ 일 경우}$$

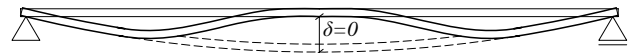


Fig. 23 Deflection of Simply Supported Beam

등분포 하중(ω)이 작용하는 단순보 부재에 인장력(T)이 가해지면서 중앙의 처짐(δ)은 점점 줄어들게 된다. 중앙의 처짐이 "0"이 될 때, 단순보 부재는 연속보 부재와 같은 거동을 보이며, 구조적으로 적합하다 할 수 있다. 이때의 인장력을 기본으로 하여 측정용 턴버클의 하중계산식 기본식으로 사용한다.

$$DL = 5\omega_D L / 8 \sin 15^\circ = 193\text{kN}$$

$$LL = 5\omega_L L / 8 \sin 15^\circ = 116\text{kN}$$

$$1.2DL + 1.6LL = 417\text{kN}$$

- 2) 인장재 단면 가정
 $\phi 45$ 의 강봉을 사용 ($\phi P_n = 501\text{kN}$, Table 21 참조)
- 3) 설계인장강도의 검토
 $1.2DL + 1.6LL = 417\text{kN} \leq \phi P_n = 501\text{kN}$ (O.K.)
- 4) 하중조합에 따른 소요인장강도
 $1.2DD + 1.6LL = 417\text{kN}$
 $1.0DD + 1.0LL = 309\text{kN}$
 $1.0DD + 0.25LL = 222\text{kN}$
- 5) 턴버클의 용량 선택 - 소요인장강도별 측정용 턴버클 하중측정 분포를 확인한다.
 $1.2DD + 1.6LL = 417\text{kN}$ (139%)
 $1.0DD + 1.0LL = 309\text{kN}$ (103%)
 $1.0DD + 0.25LL = 222\text{kN}$ (74%)
- 6) 파단하중의 비교
 $A_e F_u = 668\text{kN} < 1710\text{kN}$ (측정용 턴버클의 파단하중)
 그러므로 300kN급 측정용 턴버클을 사용한다.

요약: 인장구조물의 하중을 지지하는 인장재 사이에서 한쪽은 왼나사, 다른 쪽은 오른나사로 구성되어 장력을 조절하는 장치가 턴버클이다. 인장재의 종류 및 연결 형태에 따라 다양한 종류가 존재하지만, 보편적으로 사용되는 기존의 턴버클은 장력을 측정할 수 없는 단점을 지니고 있다. 이에 장력조절의 기능과 함께 장력측정도 가능한 측정용 턴버클을 개발하였다. 본 논문에서는 기 개발된 측정용 턴버클의 비선형해석을 통한 극한강도와 측정 신뢰성을 확인하고자 한다. 기 개발된 100kN, 200kN, 300kN급 측정하중을 가지는 턴버클의 극한강도를 살펴보면, 측정하중의 5배 이상의 극한강도를 나타내었다. 추가로 300kN 이상의 고장력을 측정하기 위한 턴버클 개발을 위하여 검토한 결과 턴버클의 경사부가 휨과 인장에 저항하기 때문에 크기가 거대해지는 경향이 나타났다. 이에 300kN급 턴버클을 병렬연결하여 설치하면 600kN까지 측정할 수 있을 것이라는 발상에서 병렬연결장치를 구상하여 실험을 실시하였고, 그 가능성을 실험결과로부터 확인할 수 있었다. 또한 실험적인 인장구조물을 설치하여 개발된 턴버클이 외기에 노출되었을 시에 초기 하중의 변화 및 부식의 정도를 살펴보았다.

핵심 용어: 인장력 측정용 턴버클, 측정하중, 극한강도, 신뢰성, 병렬연결, 온도영향