



원자로건물 피복텐던 포스트텐셔닝(CPTS) 적용기술 개발

## 원자로 건물 피복텐던 포스트텐셔닝의 표준규격 성능시험

August 2019

후레씨네코리아 김재석 이사

# 목 차

1. 표준규격 성능시험 종류 및 규정
2. 표준규격 성능 시험 요약
3. Load Transfer Test
4. Wedge Plate Test
5. Single Strand Wedge Connection Test
6. Full Scale Static Tensile Test / Dynamic Tensile Test

# 1. 표준규격 성능시험 종류 및 규정

## PT System Contents on 2015 ASME Code

### Components Qualification Tests

#### 1. Bearing Plate

**Anchorage Assembly Test (Load Transfer Test)**  
[CC-2443 Bearing Plates]

#### 2. Wedge Plate

**Wedge Plate Test**  
[CC-2442.2 Wedge Plate Test Requirements]

#### 3. Connection

**Single Strand Wedge Connection Test**  
[CC-2442.4 Strand Wedge Connection Performance Requirements]

### System Qualification Tests

#### 1. 정적인장

**Static Tensile Test**  
[CC-2463.1 Static Tensile Test]

#### 2. 동적인장

**Dynamic Tensile Test**  
[CC-2463.2 High Cycle Dynamic Tensile Test]  
[CC-2463.3 Low Cycle Dynamic Tensile Test]

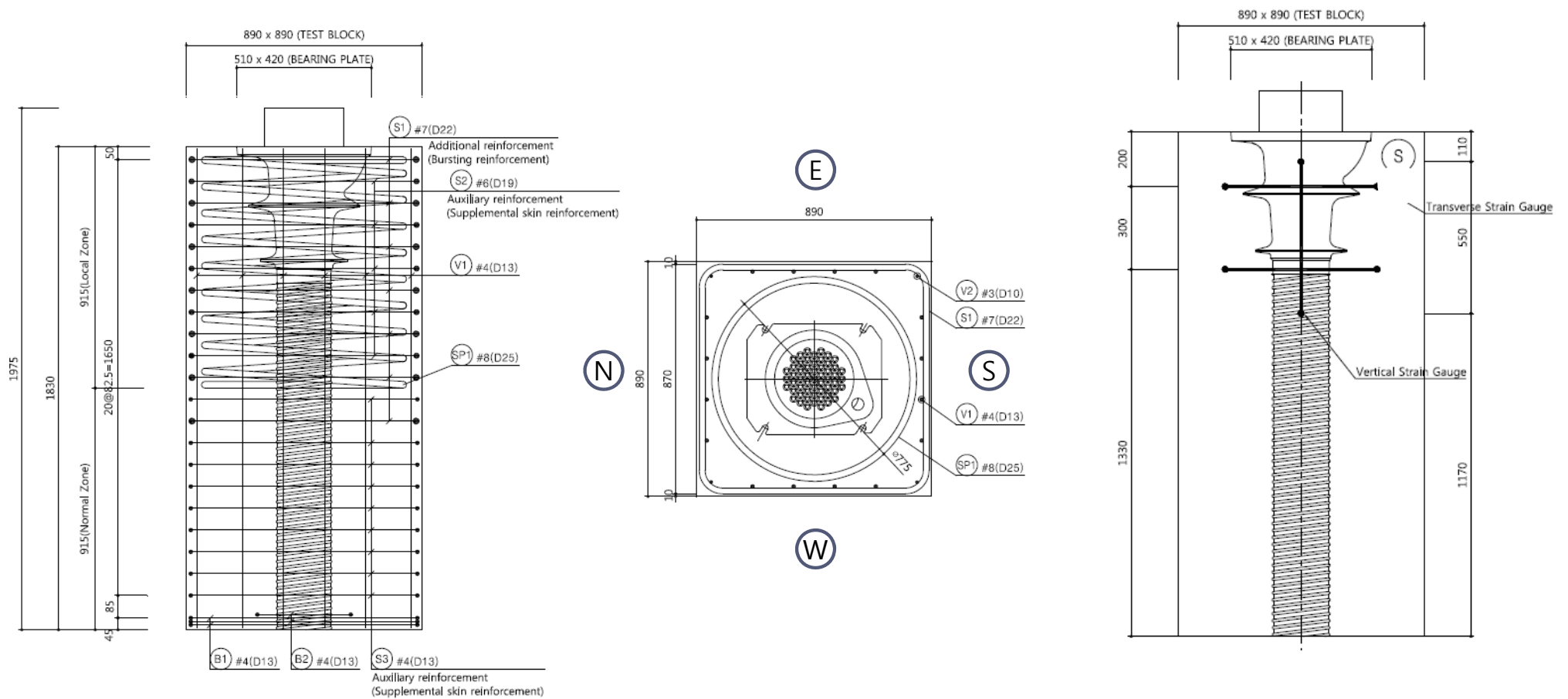
## 2. 표준규격 성능시험 요약

시험종류 (ASME Code Revision)	시험방법 (ASME Code Revision)	시험기준 (ASME Code Revision)	비고
CC-2441 Bearing Plates and Supporting Concrete (Load Transfer Test)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 40% MUTS, 10min 유지</li> <li>• 90% MUTS, 1hour 유지</li> <li>• 100% MUTS, 1hour 유지</li> <li>• 120% MUTS</li> <li>• &lt; 85% 28days Cylinder Strength</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 40% MUTS, Crack Width &lt; 0.05mm</li> <li>• 90% MUTS, Crack Width &lt; 0.25mm</li> <li>• 100% MUTS, Crack Width &lt; 0.40mm</li> <li>• &gt; 120% MUTS, No Test Block Fail &amp; System Visual Distortion.</li> </ul>	명지대학교 하이브리드구조실험센터 (09/03, 04, 12)
CC-2442.2 Wedge Plate Test Requirements (Wedge Plate Test)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 95% MUTS 하중재하 후 하중제거</li> <li>• 120% MUTS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 95% MUTS, Wedge Plate 상면 영구 변형 &lt; 1/600</li> <li>• &gt; 120% MUTS, Wedge Plate Fail No.</li> </ul>	명지대학교 하이브리드구조실험센터 (09/05 ~ 07)
CC-2442.4 Strand-Wedge Connection Performance Requirements (Single Strand-Wedge Connection Test)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Under Static Force, - 95% AUTS</li> <li>• Under Dynamic Force, - 60%~66% AUTS, 500,000 주기</li> <li>- 40%~80% AUTS, 50 주기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Under Static Force, ≥ 2% Elongation</li> <li>• Under Dynamic Force, No Wedge &amp; Wire Break Wedge Surface Cracks Permission</li> </ul>	고려제강 품질시험실 (08/21 ~ 23, 10/05) 계명대학교 첨단건설재료실험센터 (10/10 ~ 15)
CC-2460 Performance Tests CC-2463.1 Static Tensile Test	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 저온(-40°C) 1회 시험</li> <li>• System 100% Full Size</li> <li>• 100% MUTS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ultimate Tensile Strength / Elongation(min. gage length 2500mm) Check</li> <li>• &gt; 100% MUTS, ≥ 2% Elongation</li> </ul>	국내시험불가
CC-2460 Performance Tests CC-2463.2 High Cycle Dynamic Tensile Test	<ul style="list-style-type: none"> <li>• System Full Size 10% 이상</li> <li>• 60%~66% MUTS, 500,000 주기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No System Visual Distortion</li> <li>• Wire Break No.</li> </ul>	포스코글로벌 R&D 센터 강구조실험동 (08/16 ~ 27)
CC-2460 Performance Tests CC-2463.3 Low Cycle Dynamic Tensile Test	<ul style="list-style-type: none"> <li>• System Full Size 10% 이상</li> <li>• 40%~80% MUTS, 50 주기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No System Visual Distortion</li> <li>• No Wire Break</li> </ul>	

# 3. Load Transfer Test

## ✓ 적용 시험체

- 콘크리트 블록 : ASME Code 2443.1.1 Test Block에 따라 제작
- 적용 표면철근 : PTI M50.1에 따라 적합하게 배근 (콘크리트 체적비 0.01미만)

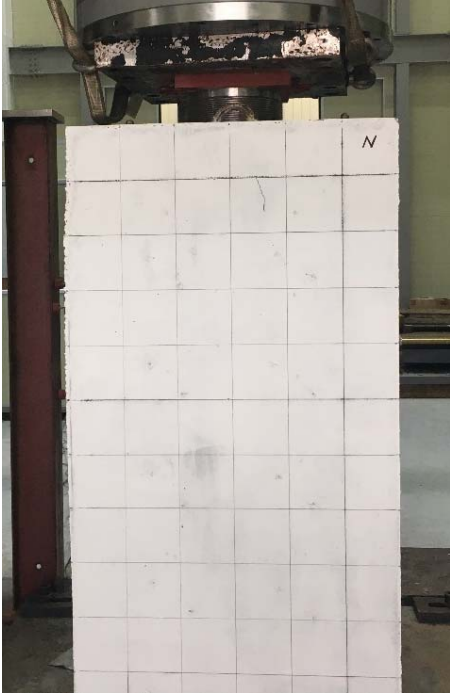
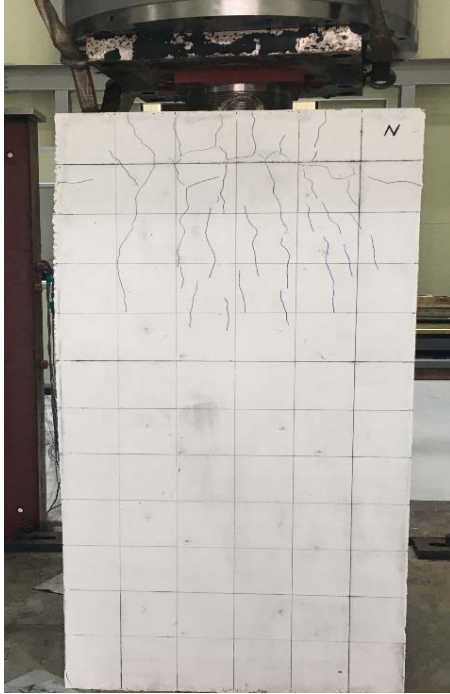
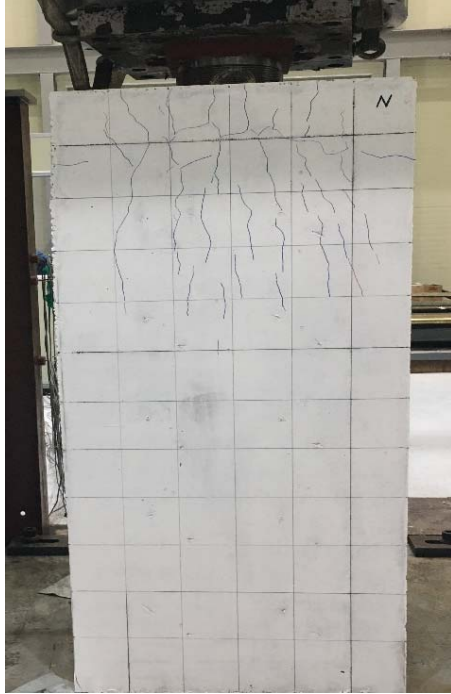
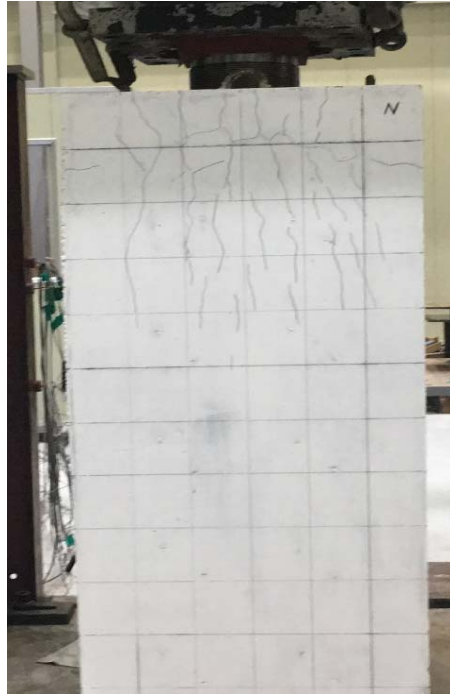




# 3. Load Transfer Test

## ✓ LTT01 시험결과

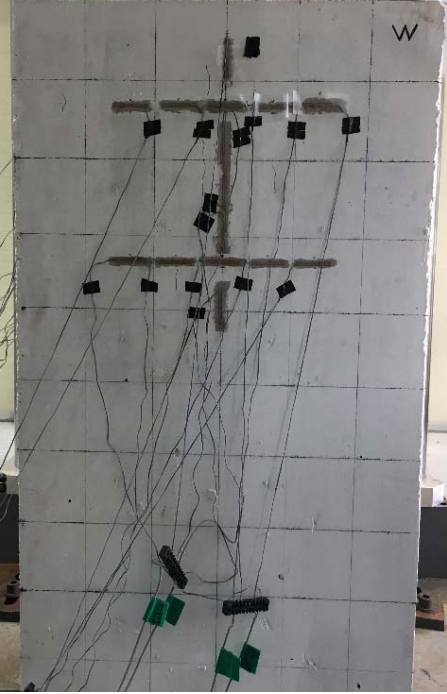
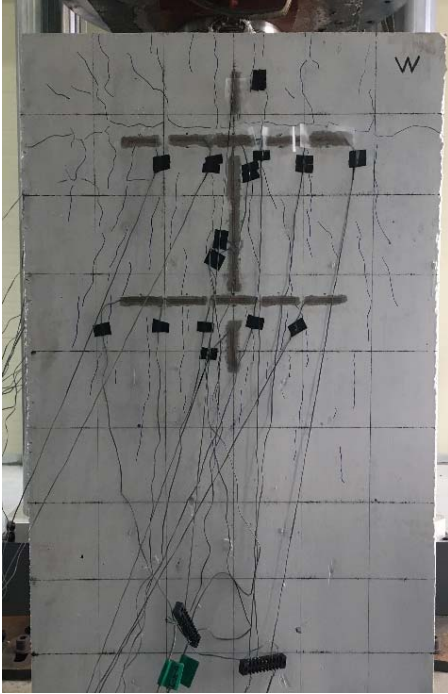

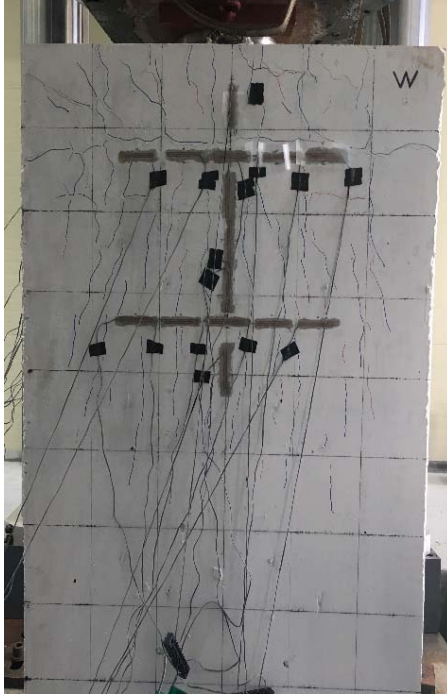
- 콘크리트 강도 **39.22MPa** > 35.19MPa(0.85f<sub>ck</sub>)
- 100% GUTS 콘크리트 균열폭 **0.08mm** < 0.4mm

40 % (10분 유지)	90 % (1시간 유지)	100 % (1시간 유지)	120 % ↑
			
0.01mm (N) ≤ 0.05mm	0.06mm (N) ≤ 0.25mm	0.08mm (N) ≤ 0.40mm	125% GUTS 초과

# 3. Load Transfer Test

## ✓ LTT02 시험결과

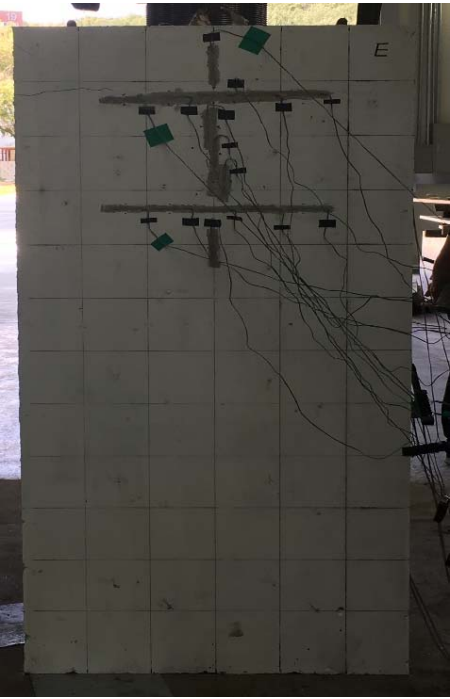

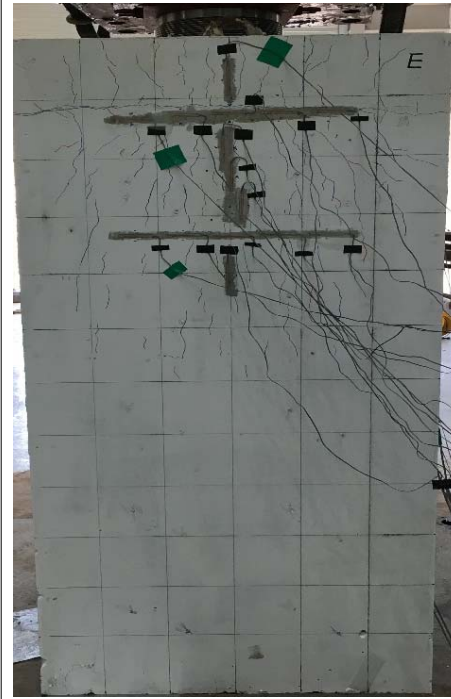
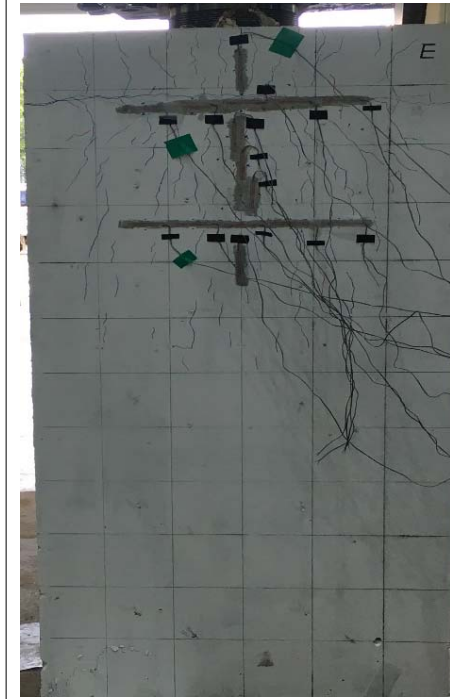
- 콘크리트 강도  $25.33\text{MPa} < 35.19\text{MPa}(0.85f_{ck})$
- 100% GUTS 콘크리트 균열폭  $0.15\text{mm} < 0.4\text{mm}$

40 % (10분 유지)	90 % (1시간 유지)	100 % (1시간 유지)	120 % ↑
			
0.01mm (W) ≤ 0.05mm	0.10mm (W) ≤ 0.25mm	0.15mm (W) ≤ 0.40mm	<b>Max 17821.64kN (116%)</b>

# 3. Load Transfer Test

## ✓ LTT03 시험결과

- 콘크리트 강도  $32.08\text{MPa} < 35.19\text{MPa}(0.85f_{ck})$
- 100% GUTS 콘크리트 균열폭  $0.32\text{mm} < 0.4\text{mm}$

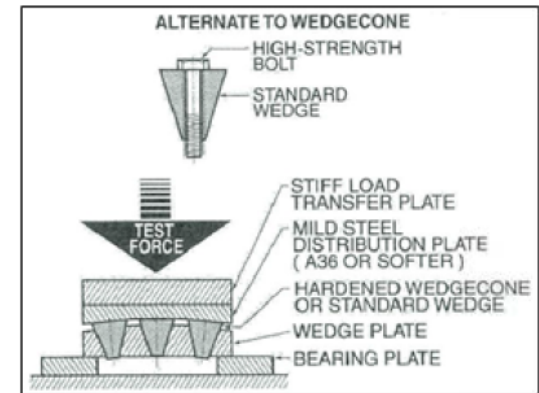
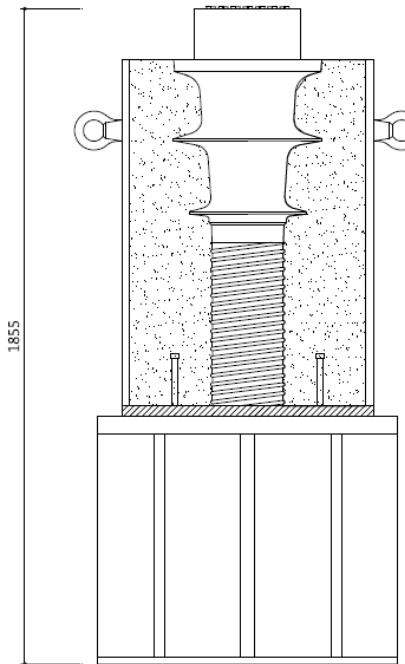
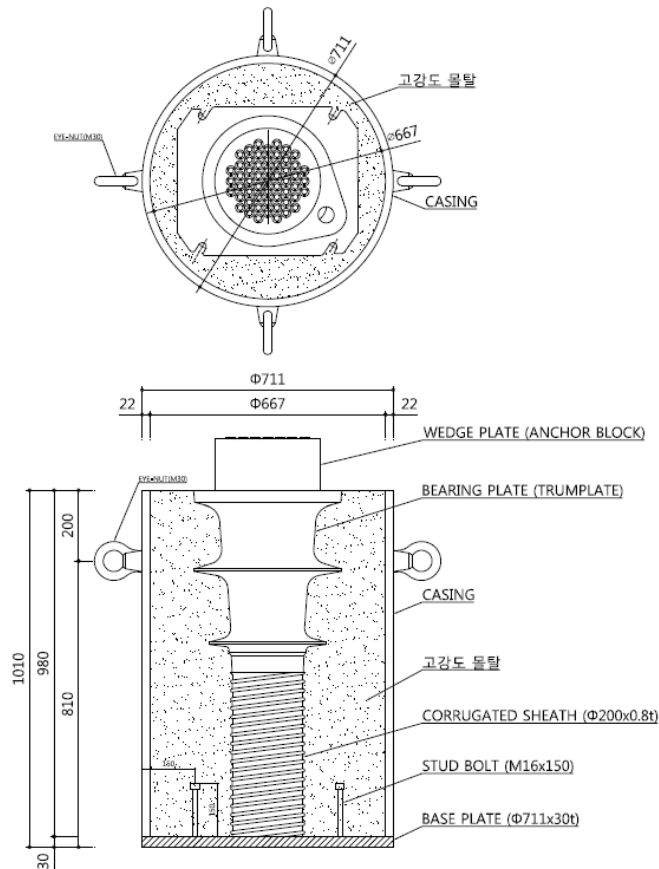
40 % (10분 유지)	90 % (1시간 유지)	100 % (1시간 유지)	120 % ↑
			
0.03mm (E) ≤ 0.05mm	0.20mm (E) ≤ 0.25mm	0.32mm (E) ≤ 0.40mm	Max 18519.97kN (120.7%)



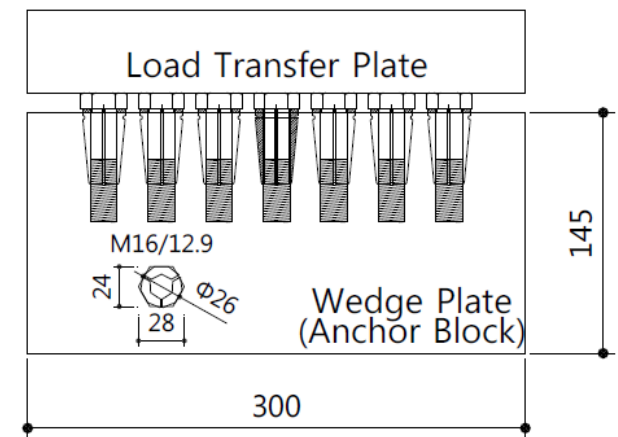
# 4. Wedge Plate Test

## ✓ 적용 시험체

- PTI M50.1에 제시된 Wedge Plate Test 시험체 형상에 따라 제작
- 트럼플레이트 설치를 위해 강관들에 고강도물탈을 적용하여 고정
- 시험체 03은 고강도 볼트 대신 15.7mm 강연선을 웨지와 결합하여 시험비교



Test Force



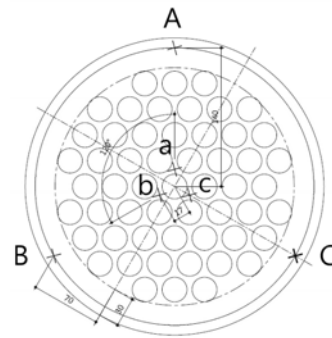
# 4. Wedge Plate Test

## ✓ WPT01 시험결과

• 0%



• 95%



• 120% ↑



측점	0%	95% ( $\leq 0.40\text{mm}$ )		120% ↑
A	83.10	84.20	-1.10	균열 1개소 발생
B	83.05	84.40	-1.35	
C	83.20	84.35	-0.90	
a	83.10	87.00	-3.90	
b	83.10	87.05	-3.95	
c	83.10	87.00	-3.90	

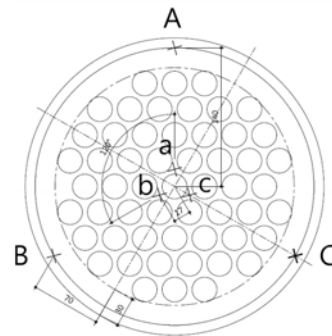
# 4. Wedge Plate Test

## ✓ WPT02 시험결과

• 0%



• 95%



• 120% ↑



측점	0%	95% ( $\leq 0.40\text{mm}$ )		120% ↑
A	83.20	83.95	-0.75	외측 웨지홀 균열 다수 발생
B	83.20	84.65	-1.45	
C	83.35	84.15	-0.80	
a	83.20	86.50	-3.30	
b	83.20	86.60	-3.40	
c	83.25	86.55	-3.30	



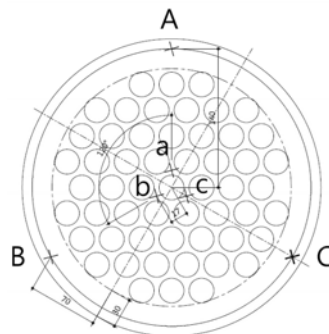
# 4. Wedge Plate Test

✓ WPT03 시험결과 : 고장력 볼트를 강연선으로 변경하여 시험

• 0%



• 95%



• 120% ↑



측점	0%	95% (≤ 0.40mm)		120% ↑
A	83.40	84.85	-1.45	특이사항 없음
B	83.15	84.25	-1.10	
C	83.25	84.25	-1.00	
a	83.30	87.00	-3.80	
b	83.25	87.05	-3.80	
c	83.30	87.10	-3.80	

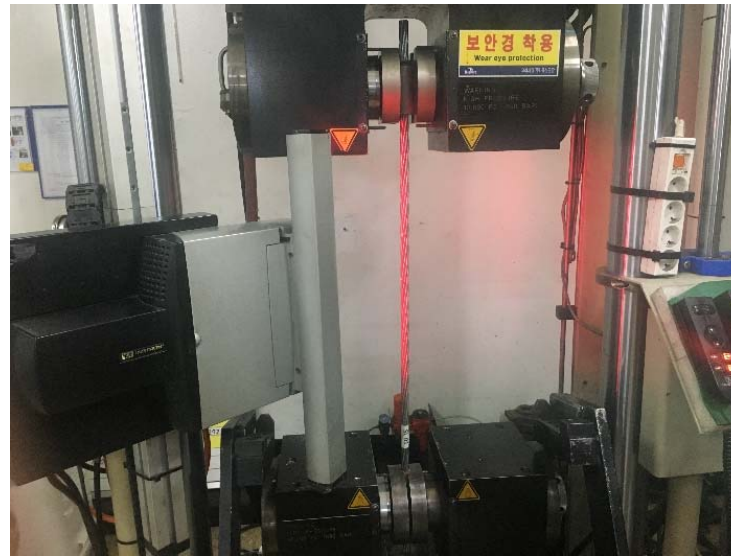
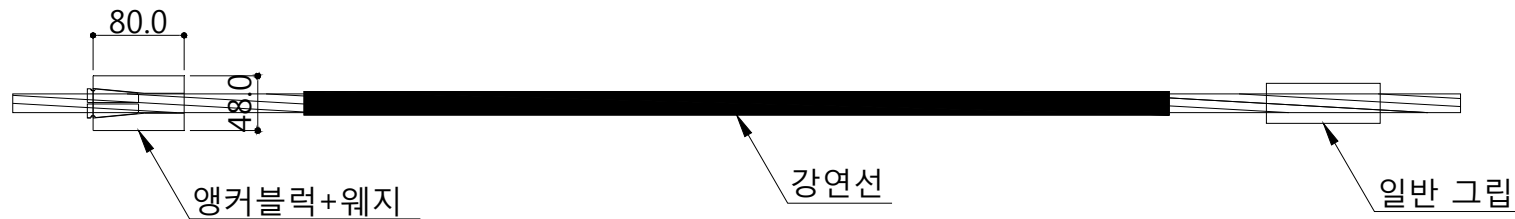
• 2018년 10월말 Freyssinet 2400MPa WP개발, Multi Lift Off Test 진행, 95% 하중하에 WP 변형량 측정 → 0.11mm(Center)



# 5. Single Strand Wedge Connection Test

## ✓ 적용 시험체

- 텐던 시스템에 사용되는 강연선 및 웨지를 적용하며, 단일 강연선 및 웨지는 앵커블럭에 고정
- 정적시험 : 웨지홀 그리스 처리 15ea, 그리스 미처리 15ea
- 동적시험 : 웨지홀 그리스 처리 2ea, 그리스 미처리 2ea



# 5. Single Strand Wedge Connection Test

## ✓ SSWCT – 정적시험 결과

- AUTS 286.87 kN → 95% 272.53 kN
- Wedge Hole 그리스 처리

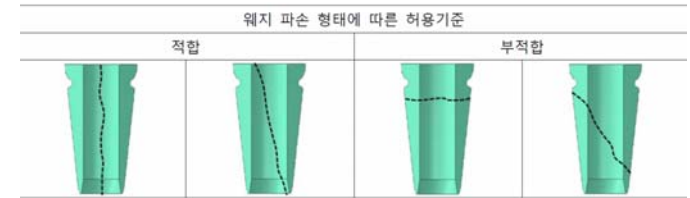
시험체	파단하중 (kN)	연신율 (%)	비 고
SL 01	281.75	4.32	OK
SL 02	282.59	4.52	OK
SL 03	281.69	4.25	OK
SL 04	282.59	4.53	OK
SL 05	279.22	4.90	OK
SL 06	280.68	3.81	OK
SL 07	282.12	4.45	OK
SL 08	281.65	4.29	OK
SL 09	281.04	4.14	OK
SL 10	281.95	4.46	OK
SL 11	281.15	4.24	OK
SL 12	282.40	4.47	OK
SL 13	282.21	4.51	OK
SL 14	281.74	4.72	OK
SL 15	278.53	4.25	OK

- Wedge Hole 그리스 미처리

시험체	파단하중 (kN)	연신율 (%)	비 고
SNL 01	278.45	4.27	OK
SNL 02	279.06	4.59	OK
SNL 03	278.03	4.11	OK
SNL 04	279.68	4.74	OK
SNL 05	278.96	4.41	OK
SNL 06	278.20	4.36	OK
SNL 07	278.71	4.47	OK
SNL 08	278.45	5.16	OK
SNL 09	279.63	4.70	OK
SNL 10	278.38	4.49	OK
SNL 11	278.66	4.59	OK
SNL 12	277.98	4.30	OK
SNL 13	279.11	4.41	OK
SNL 14	279.48	4.96	OK
SNL 15	281.25	4.53	OK

# 5. Single Strand Wedge Connection Test

✓ SSWCT – 정적시험 결과

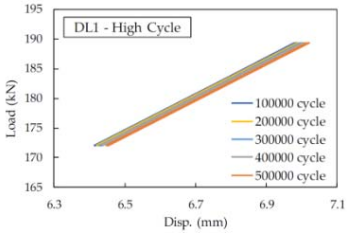
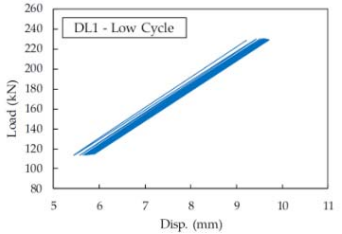


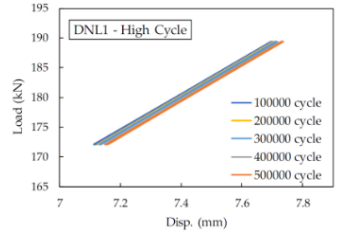
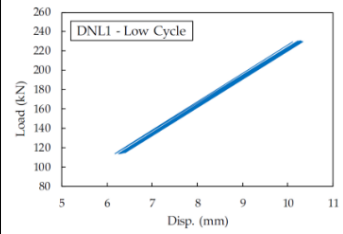


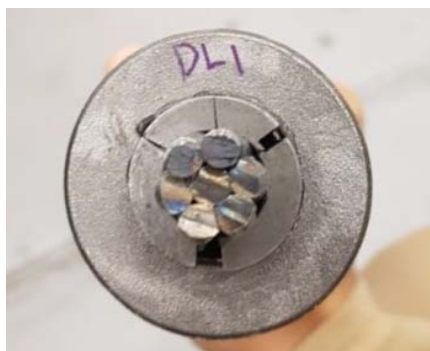
# 5. Single Strand Wedge Connection Test

## ✓ SSWCT – 동적시험 결과

- High Cycle Dynamic Test : 60 ~ 66% AUTS 500,000회 / Low Cycle Dynamic Test : 40 ~ 80% AUTS 50회
- Wedge Hole 그리스 처리
- Wedge Hole 그리스 미처리

시험체	50만회 → 50회		비 고
DL 01			OK
DL 02			OK

시험체	50만회 → 50회		비 고
DL 01			OK
DL 02			OK

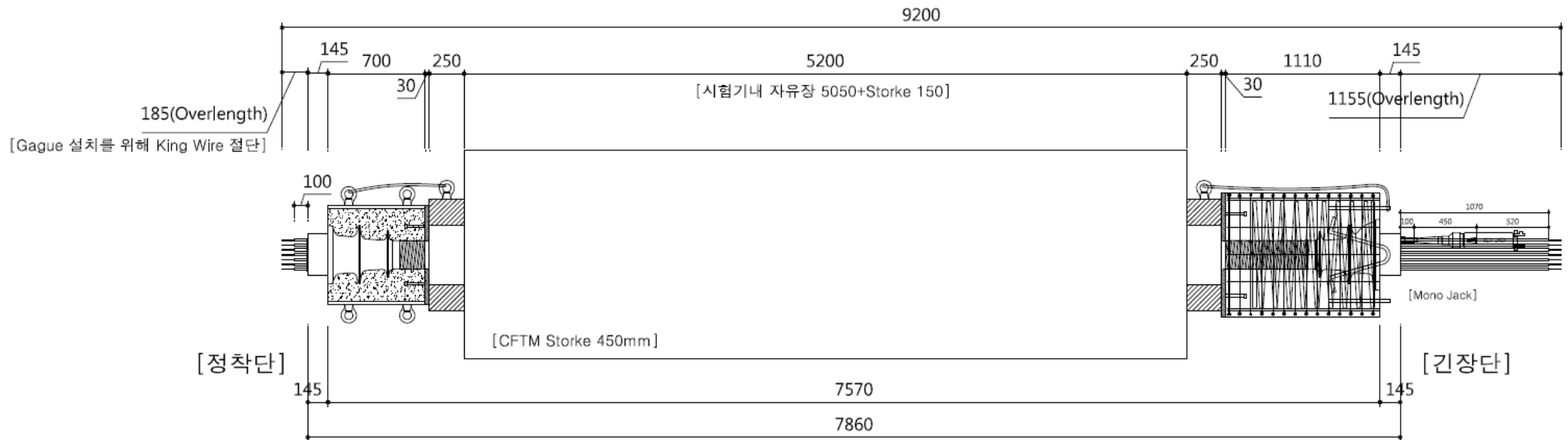




# 6. Full Scale Static Tensile Test / Dynamic Tensile Test

## ✓ 적용 시험체

- ASME Code, CC-2464 Size of Performance Test Specimens 규정을 모두 만족하도록 1860MPa, 55가닥 강연선의 전체 텐던 시스템 적용  
(CC-2464 동적인장시험은 실제 텐던 규모(55가닥)의 10% 수준 이상 적용 제시)
- 동일 시험체로 동적인장시험 및 정적인장시험을 실시

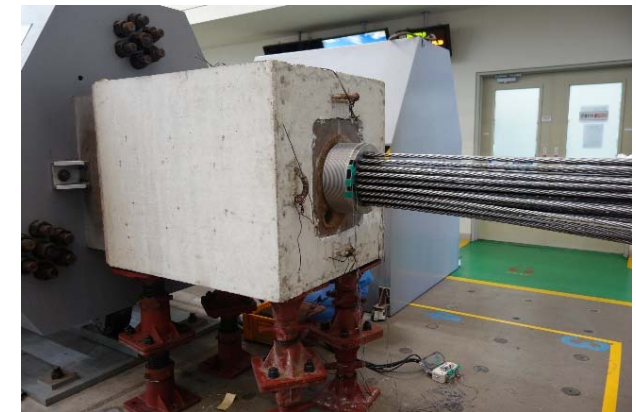
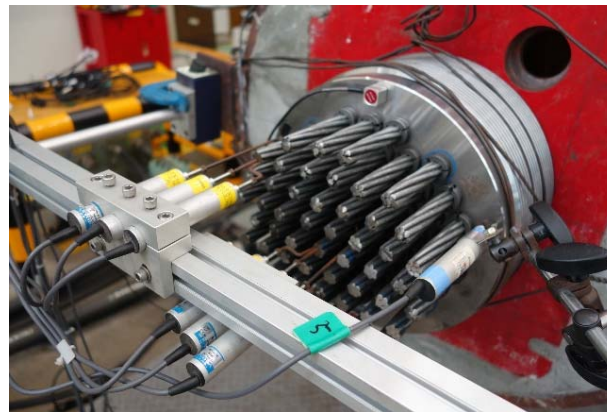
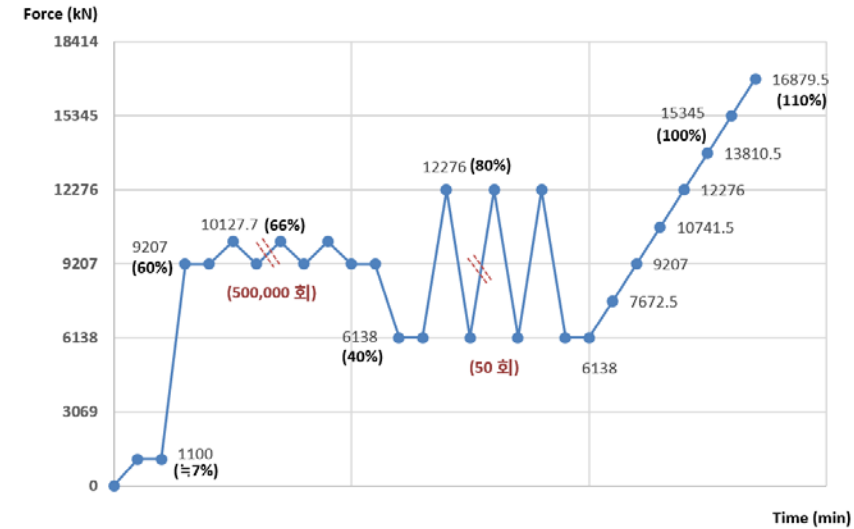


# 6. Full Scale Static Tensile Test / Dynamic Tensile Test

✓ 적용 시험체



Diagram of the load steps

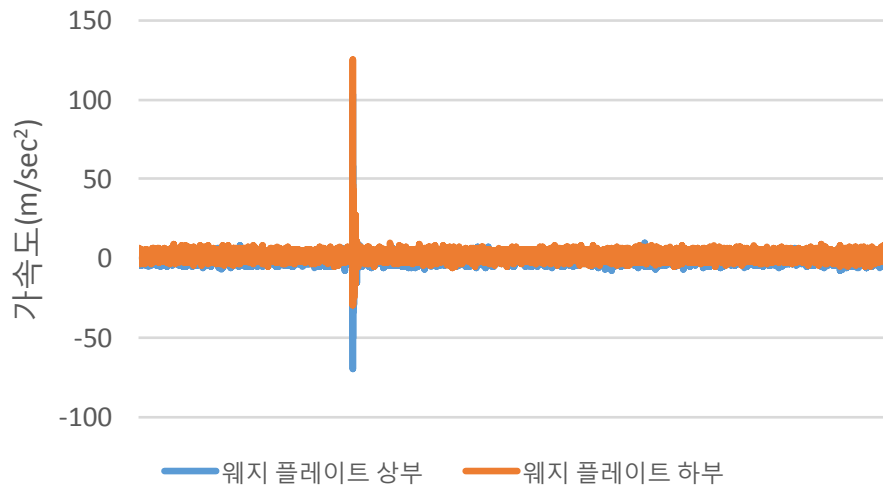


# 6. Full Scale Static Tensile Test / Dynamic Tensile Test

## ✓ 50만회 High Cycle Dynamic Tensile Test 결과

- 49만회에서 트리거를 초과하는 가속도가 1회 계측
- 가속도 센서를 이용한 파단계측은 미국, 유럽 등의 해외 시험소에서 채택하고 있는 방식이나 1회 측정된 이상 신호는 외부 충격에 의한 이상 데이터가 계측될 수 있기 때문에 지속적인 이상신호 계측 외에는 참고자료로 사용되어야 함.

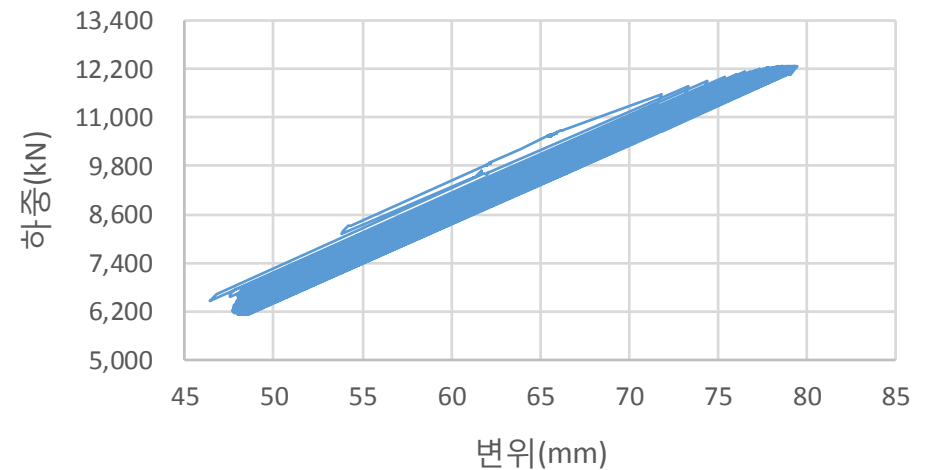
파단감지 가속도 계측결과



## ✓ 50회 Low Cycle Dynamic Tensile Test 결과

- 가속도 센서에서 트리거를 초과하는 가속도값 미 계측
- 50회 동적 인장시험 과정 중 일정한 기울기를 유지하며 하중의 반복 가력이 이루어졌음을 확인

로우 사이클 동적 인장시험





# 6. Full Scale Static Tensile Test / Dynamic Tensile Test

## ✓ Static Tensile Test 결과

- 49만회 최대하중은 16,146kN, 텐던 공칭강도(MUTS, Minimum Ultimate Tensile Strength)의 105.2%으로 계측
- 최대 하중 도달시 텐던의 변형량과 연신율은, 동적 시험 이전 data 및 선형 보간법에 의한 초기 변형량을 포함하여 160.6mm, 2.12% 측정

정적 인장시험 결과 (동적 시험 이전 data 포함)

