

2,160 MPa PS강연선 개발 및 구조물 적용기술

Development of 2,160 MPa PS Strand and Application Technology



김진국*
Jin-Kook Kim



이필구**
Pil-Goo Lee



이만섭***
Man-Seop Lee

1. 서론

철근콘크리트 구조물은 인장에 취약한 콘크리트의 성능을 보강하기 위해 단면 내에서 인장력을 지지하도록 철근을 보강하지만 콘크리트 부분에서의 균열은 피할 수 없다. 따라서 사용하중 하에서 콘크리트의 균열을 제어하여 단면의 강성 및 사용성을 확보하고 나아가 구조물의 슬림화 및 장경간화를 위해 콘크리트에 프리스트레스를 도입하는 프리스트레스트 콘크리트 구조물이 널리 사용되고 있다. 원자력 발전소, LNG탱크, 부유 구조물, 현수교/사장교 콘크리트 주탑의 가로보 등과 같이 중요 대형 구조물의 경우 균열제어를 목적으로 PS강연선이 사용되고 있다.

PS강연선은 포스코 등의 제철소에서 공급받은 피아노선재를 고려제강, 만호제강 등의 회사에서 선선 및 냉간 가공하고, 그 강선을 꼬아 합친 후 잔류변형을 제거하기 위해 저온열처리를 한 강제 제품이다<사진 1>. 현재 전 세계적으로 사용되고 있는 PS강연선의 인장강도는 1,860 MPa이며, 0.82% 탄소함량 선재인 SWRS82 또는 SWRH82로 생산되는데 1980년대 초에 상용화된 이래로 거의 30년간 강도 변화없이 사용되고 있다. 2000년대 초반 신일본제철(NSC)과 스미토모(SEI)에서는 구조물의 슬림화를 위해 2,230 MPa PC강연선을 개발하였고, 2006년에는 동경 아카하바라역 앞의 보도육교에 시범적으로 적용한 바 있다. 그러나 규격, 설계기준, 정착시스템 등의 제반기술이 완성되지 않아 상용화되지 못하고 있는 실정이다.

국내에서는 포스코와 고려제강이 지식경제부 Megastructure 연구과제의 일환으로 인장강도 2,160 MPa에 해당하는 선재와 PS강연선 개발을 2008년 완료하였다. 나아가 (재)포항산업과학연구원과 한국콘크리트학회가 2,160 MPa PS강연선의 상용화 기반을 구축하기 위해 2008년 4월 연구를 착수하여 1년 2개월

간의 연구와 수개월간의 법제화, 제도화 과정을 거쳐 곧 상용화 기반을 구축하였다. 이 연구의 대표적인 성과물로 KS규격(KS D7002)을 개정(2009.12)하였고, 고강도 PS강연선에 맞는 정착시스템의 성능검증을 위한 시험기준(2009년도 개정 콘크리트표준시방서해설, 2010.2)을 개정하였으며, 2010년 개정되는 도로교설계기준개정판(2010.9)에는 2,160 MPa PS강연선을 사용할 수 있도록 하였다. 2,160 MPa PS강연선의 상용화는 전 세계 최초로 이루어지는 것으로 그 과정에 대한 상세한 소개를 하고자 한다.

2. KS규격화와 설계기준

KS규격에서 PS강연선은 KS D 7002에 'PC강연선'으로 정의되어 있어 아직 많은 엔지니어들은 PC강연선을 혼용하고 있으나 도로교설계기준과 콘크리트구조설계기준에서는 PS강연선



사진 1. 강연선의 제조 프로세스

* 정회원, (재)포항산업과학연구원 책임연구원
jkkim@rist.re.kr

** 정회원, (재)포항산업과학연구원 책임연구원

*** 정회원, 브이에스엘코리아 대표이사

으로 명시하고 있다<사진 2>. PS강연선의 기계적 특징은 항복강도, 인장강도, 연신율 외에 릴렉세이션을 포함하고 있다. 2,160 MPa PS강연선은 기존의 국내의 규격과 일본의 2,230 MPa PS강연선 제품을 비교·검토하여 개발 제품의 목표성능 수준을 설정하였다<표 1>.

인장강도는 300 kN 이상을 확보하도록 설정하였고, 인장강도에 대한 항복강도의 비율인 항복비의 경우 ASTM을 제외하고는 모든 규격에서 85%로 정의하고 있어 동일한 수준으로 결정하였다. 연신율과 릴렉세이션 또한 기존 강연선의 규격과 동일한 성능을 확보하도록 3.5% 이상, 2.5% 이하로 각각 설정하였다. 규격에 대한 상세 기준은 아래와 같다.

콘크리트구조설계기준에서는 강연선의 강도에 따른 세부 설계 기준을 따로 정하고 있지 않으나 도로교설계기준의 경우 이전 AASHTO 설계기준에서 도입한 설계식에 따라 장기거동에 의한 응력손실을 간략히 산정할 수 있는 식을 제시하고 있다. 간략식은 PSC 박스거터나 그 이상의 대형 또는 특수구조물에서는

적용되고 있지 않지만 PSC 보와 같은 소형 구조물에는 아직 사용되고 있는 실정이다. 그러나 현재의 AASHTO, Eurocode2와 같은 설계기준에서 더 이상 그러한 간략식을 사용하지 않고, 수식이 다소 복잡해 보이기 는 하지만 장기거동에 대한 이론에 근거한 수식을 사용하도록 하고 있다. 급변 도로교설계기준 개정에서는 2,160 MPa 강연선의 손실을 계산할 때 간략식을 이용하지 않고 정밀해석법을 통해 계산하도록 하였으나, FEM 프로그램을 이용한 정밀해석이 아니더라도 AASHTO나 Eurocode2 기준에서 제시하고 있는 일반적인 장기거동 손실식이 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

3. 정착구의 성능기준

PS강연선은 기존 1,860 MPa에서 2,160 MPa로 300 MPa의 강도가 증가되었기 때문에 그에 적합한 정착시스템이 함께 사용되어야 한다. 현재 국내 지방서에서는 미국의 PTI기준이나 유럽의 FIP 기준에 따라 성능검증시험을 수행하도록 하고 있다. 그러나 언어적 장벽, 전문인력 부족, 실험 인프라의 부족 등의 이유로 일부 해외업체를 제외하고는 관련 기술에 대한 인지도가 매우 낮은 실정이다. 한국콘크리트학회에서는 (재)포항산업과학 연구원의 연구위탁을 받아 2009년 관련 시험기준(2009년도 콘크리트표준시방서 KCI-PS101)을 개정하였다.

시험기준은 국제적인 수준에 부합하도록 유럽(ETAG013), 미국(PTI, AASHTO), 일본(토목학회지침) 시험기준을 분석하여 최종적으로 유럽기준인 ETAG013을 기반으로 일부 국내 실정을 반영하여 작성되었다. <그림 1>과 같이 정착시스템의 구성요소는 앵커헤드, 썸기, 트럼펫(또는 캐스팅) 등으로 구성되어 있다. 앵커헤드와 썸기는 강연선과 맞물려 정적 및 피로성능을 확보해야한다<사진 3>. 즉, 강연선의 정적 및 피로강도가 썸기와 앵커헤드에 의해 손실이 크게 발생하지 않아야 한다. 여기서 부착식 강연선의 경우 단부에서 강연선의 응력변화가 거의 없기 때문에 피로시험을 생략할 수 있도록 하였다. 트럼펫의 경

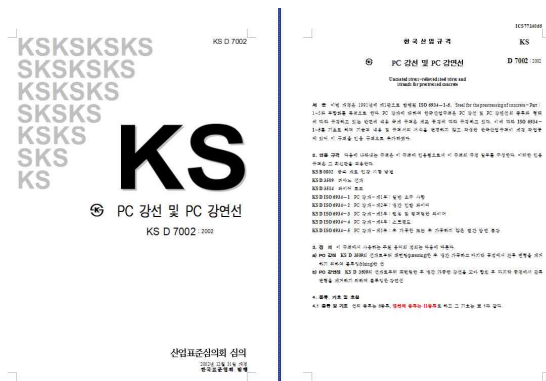


사진 2. KS규격 개정판과 2,160MPa PS강연선

표 1. 기존 강연선과 2,160 MPa 강연선의 재료성능

강연선	직경 (mm)	공칭 단면적 (mm ²)	인장강도 (kN)	0.2% 오프셋 항복강도 (kN)	연신율 (%)	릴렉세이션 (%)
2,160 MPa	15.2	138.7	≥300	≥270	3.5	2.5
1,860 MPa	15.2	138.7	≥261	≥222	3.5	2.5

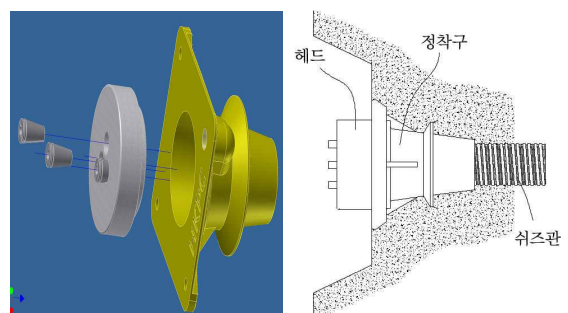


그림 1. PS강연선의 정착시스템



사진 3. 강연선, 썬기, 앵커블록의 정적/피로시험

우 콘크리트 블록을 포함하여 <사진 3>과 같이 하중전달시험을 하고, 반복하중이 가력되는 과정 중 강연선을 통해 콘크리트로 전달되는 하중이 효과적으로 분포되도록 해야 한다. 즉, 반복하중 가력에 의한 콘크리트 표면에서 일정한 폭 이하의 균열이 발생해야 하며, 최대 강도는 강연선의 공칭강도 대비 110% 이상이 확보되어야 한다<그림 2>.

국내에서 상용화되어 있는 일부 국내의 정착시스템 제품에 대해 정적 및 하중전달시험이 (재)포항산업과학연구원 강구조연구소에서 이루어졌다. 일부 제품의 경우 2,160 MPa에 적합하도록 수정, 보완되었고 일부 제품의 경우 1,860 MPa PS강연선에 적용되는 제품을 그대로 이용하여 실험이 수행되었다. 그 결과 2,160 MPa 정착구에 적합하도록 수정, 보완된 정착구의 경우 두 실험 모두 만족하였다. 1,860 MPa 강연선용 정착구의 경우, 2,160 MPa 강연선을 사용하기에 일부 성능은 확보하고 있었으나 일부는 개선이 요구됨을 확인되었다.

2010년 도로교설계기준의 개정과 함께 2,160 MPa PS강연선의 일부 적용이 예상되며, 재료 절감과 시공성 향상 등의 이점을 고려할 때 근시일 내에 전체 시장이 2,160 MPa PS강연선으로 전환될 것으로 판단된다. 따라서 국내의 정착시스템 또한 그에 맞는 수준으로의 개선이 조속히 이루어질 필요가 있다. 기존 일부 정착시스템의 경우 성능검증 없이 현장에 적용되고 있으나 소재가 고강도화 될 경우 상대적 여유도는 떨어질 수밖에 없기 때문에 현장 적용에 앞서 충분한 성능검증이 수반되어야 할 것으로 판단된다.

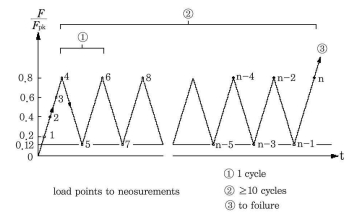
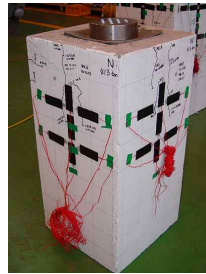


그림 2. 트럼펫의 하중전달시험체와 하중가력계획

4. 결론

현재 사용되고 있는 1,860 MPa PS강연선보다 고강도화 된 2,160 MPa PS강연선이 전 세계 최초로 국내에서 규격화 되고 현장에 적용가능토록 설계기반을 구축하게 되었다. 그 동안 해외의 기술을 뒤쫓아 온 것과는 달리 기술을 선도해 가기 위해서는 많은 기술적 뒷받침과 검증이 뒤따라야 할 것이다. 이를 위해 정착시스템은 성능시험 기준에 따라 충분한 검증이 이루어져야 하며, PSC구조를 다루는 엔지니어는 정착시스템에 대한 충분한 이해를 해야 할 것이다. 그러나 이미 검증된 정착시스템에 대해서는 막연한 불안감 때문에 건설현장마다 추가적인 검증을 요구하는 일은 없어야 할 것이다.■

참고문헌

1. KS D 7002, 'PC 강선 및 PC 강연선', 2007.
2. 한국콘크리트학회, 「콘크리트표준시방서 해설」, 2010.
3. 한국도로교통협회, 「도로교설계기준」, 2010.
4. 한국콘크리트학회, 「콘크리트구조설계기준」, 2007.

담당 편집위원 :
손혁수(GS건설) hsson@gsconst.co.kr

<http://www.kci.or.kr>

KOREA CONCRETE INSTITUTE