

증기양생 조건에 따른 터널 PC 패널의 물리적 특성에 관한 연구

마상준¹, 장필성^{2*}, 신진용³, 남관우⁴

The study on mechanical properties of PC panel with steam curing condition

Sang-Joon Ma, Pil-Sung Jang, Jin-Yong Shin, Kwan-Woo Nam

Abstract Many problems exist in the current cast in place concrete lining used in domestic tunnel construction. Especially, the crack of tunnel lining brings about a social and economic problem. It has a lot of influence on stability of structure and the fine finish of lining. So enormous repair-work and reinforcement of tunnel lining could occur an running out of government's budget. In our country, there are domestic production enterprises which produce a special pre-cast concrete product, but the technical level of them is still far behind compared to developed countries. Also, optimum steam curing method is important for the production of high quality product. But there is no regulation of steam curing method in our country. This study is to investigate the properties of PC panel according to the variation of steam curing conditions such as presteaming time and rate of temperature rise. The result shows that the optimum presteaming time of steam curing method in PC panel is more than 1 hour and the desirable rate of temperature in curing chamber is about 20°C/hr.

Keywords: Steam curing, PC panel, high quality, precuring period, rate of temperature rise

요 지 국내에서 대부분 시공되어지고 있는 현장타설 콘크리트 라이닝은 여러 가지가 문제점을 나타내고 있다. 그 중에 특히 라이닝의 균열 발생은 사회적 및 경제적인 문제로까지 제기되고 있으며 라이닝의 미관 뿐 만아니라 안정성에도 영향을 미치게 되므로 막대한 보수보강 공사비의 지출을 유발해 국가 예산을 소모시키고 있다. 국내 콘크리트 2차 제품 생산업체의 생산기술은 아직 선진국 수준에 미치지 못하며, 고품질 제품 생산에 있어 가장 중요한 증기양생 방법 또한 규정되어 있지 않은 실정이다. 본 연구에서는 터널용 PC 패널의 증기양생조건 중 전양생시간, 온도상승구배를 달리하여 물리적 특성을 검토하였다. 시험결과, 고강도 PC패널의 전양생시간은 최소 1시간 이상이 바람직하였으며 온도상승구배는 최대 20°C가 물리역학적으로 가장 우수한 성능을 나타내었다.

주요어: 증기양생, PC 패널, 고품질, 전양생, 온도상승율

1. 서 론

국토의 약 70%가 산지로 이루어진 국내는 철도, 도로, 수로 등의 많은 터널이 건설되어 왔으며, 앞으로도 사회 간접시설의 확대에 따라 터널은 계속 증가할 것으로 예상된다. 하지만 국내에서 대부분 시공되어지고 있는 현장타설 콘크리트 라이닝은 여러 가지 문제점을 나타내고 있다. 그 중에 특히 라이닝의 균열 발생은 사회적 및 경제적인 문제로까지 제기되고 있으며 콘크리트 건조수축 및 신축작용 등의 영향으로 발생되어 터널의 단면력에 영향을 미치게 되고 막대한 보수·보강 공사비의 지출을 유발해 국가 예산을 소모시키고 있다.

이러한 현장타설 콘크리트 라이닝의 단점을 극복하고 자 국외에서는 프리캐스트 콘크리트 라이닝(PCL)의 적용 및 연구가 활발히 이루어지고 있는 추세이다. 국외에서 다양한 공법으로 적용되고 있는 PCL 공법은 고품질 및 무균열의 터널 라이닝 공법으로서 터널 공기의 단축, 라이닝 보수·보강 공사비의 절감 등의 장점을 가지고 있어 균열 발생의 문제점을 지닌 현장타설 라이닝공법의 단점을 완벽히 해소할 수 있다. 그러나 국내 콘크리트 2차 제품 생산업체의 생산기술은 아직 선진국 수준에 미치지 못하며, 고품질 제품 생산에 있어 가장 중요한 증기양생 방법 또한 규정되어 있지 않은 실정이다. PCL 공법의 장점을 충분히 발휘하기 위해서는 선진국 수준의 정밀한 시공 프로세스의 도입도 중요하지만 이에 앞서 고품질 및 무균열의 PC 패널의 국내 생산이 선행되어야 한다.

국내의 PC 공장에서는 PC 제품 제작 시 일반적으로 실

¹한국건설기술연구원 지반방재환경연구소 책임연구원

²한국건설자재시험연구원 신뢰성평가센터 연구원

³한국건설자재시험연구원 신뢰성평가센터 선임 연구원

⁴(주)태영건설 상무

*교신저자: 장필성 (psjang@kicm.re.kr)

시하고 있는 증기 양생방법은 짧은 시간내에 높은 탈형 강도를 얻을 수 있어 생산성 향상에 많은 도움을 주고 있다. 하지만 강도 증진이 현저하게 나타나는 초기의 품질관리상태에 따라 향후 구조물의 안전 및 내구성에 큰 영향을 받게 되는데, 양생조건이 고온상태인 경우 지나친 축진으로 인한 품질변화가 발생할 수 있고 저온 상태인 경우 반응지연으로 인하여 목표 강도에 도달하지 못하는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 초기 품질확보를 위해서는 콘크리트 제조, 시공 및 양생 시 규정 준수가 절대적으로 필요하고 균질하고 양호한 콘크리트 발현을 위해서는 적정 온도 및 습도 조건을 만족시켜야 한다. 본 연구에서는 터널용 PC 패널의 증기양생조건 중 전양생시간, 온도상승구배, 최대양생온도를 달리하여 물리적 특성을 검토함으로써 대단면 콘크리트 2차 제품의 물리적 성능 및 내구성향상 방안을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

일반적으로 PC 제품의 증기 양생에 있어 가장 효과적인 최대 양생온도는 66~82°C이고, 만약 양생이 24시간 정도 계속될 수 있다면 이 범위 안에서 낮은 온도일수록 더욱 효과적이라고 알려져 있다. Schmid와 Schutz는 최대 양생온도와 시간이 1일 콘크리트 강도에 매우 큰 영향을 준다고 주장하였으며, 일반적으로 시간이 길수록 1일 강도가 커지며 증기양생 1일 후에는 강도 상승이

거의 없다고 보고하고 있다(ACI Committee 517, 1969). 또한 높은 최대 양생온도는 그에 따른 긴 온도상승 기간을 요구하며 높은 초기강도와 낮은 장기강도를 일반적으로 나타낸다(고경택과 정해문, 2005). 이처럼 고품질 PC패널 생산에 있어 적절한 양생조건 결정은 물리적 특성 및 장기 내구성 향상에 중요한 영향을 미친다.

본 연구를 통하여 고품질 PC패널 생산을 위한 효과적인 양생방법을 도출하고자 증기양생조건을 달리하여 강도 발현 및 내구특성 변화를 분석하였다. 최대양생온도를 60°C로 고정된 뒤 증기양생조건(전양생시간, 온도상승구배)을 변수로 채택하여 공시체를 제작하였으며 시험공시체에 적용된 양생 조건은 표 1과 같다. 시험공시체는 각 측정 시기별로 각각 3개씩 제작하여 시험하였으며 압축강도 측정은 축진양생을 마친 후 탈형 즉시와 축진양생 후 각각 14일, 28일간 수증양생한 후에 실시하였다. 시험공시체의 압축강도 값을 비교분석하여 각 양생주기에서의 변수가 압축강도 및 내구성에 미치는 영향을 평가하고, 소성수축균열을 일으키지 않은 상태를 유지하면서 소요 강도를 얻을 수 있는 최적의 증기양생 기간을 검토하였다.

2.2 콘크리트 배합 설계

콘크리트 배합설계는 고성능 PC패널 개발에 적용하고 있는 배합표를 수집하여 설계 강도 및 그에 따른 사용재료의 단위량을 분석한 후, PC 패널 생산시 일반적으로 사용하고 있는 설계강도 45 MPa를 채택하여 배합설계를 실시하였다(표 2).

표 1. 양생조건 변수

| 항 목 | 변수 | 인자 | 기준값 |
|------|----------------------------------|----|------------------------------|
| 증기양생 | 전양생시간 0, 1, 2, 3 (hr) | 4 | 온도상승구배 20°C/h 최고양생온도 60°C |
| | 온도상승구배 10, 20, 30, 40 (°C/hr) | 4 | 전양생시간 3시간, 최고양생온도 60°C |
| | 등온양생(°C) 5~8시간후 자연방랭 6시간 | | |

표 2. 배합 설계표

| f _{ck} | 슬럼프 (cm) | 공기량 (%) | 잔골재율 (%) | 물-시멘트비 (%) | Unit weight(kg/m ³) | | | | |
|-----------------|-------------|------------|-------------|---------------|---------------------------------|-------|-------|--------|------|
| | | | | | C | W | S | G | AD |
| 45 MPa | 4.0±1.0 | 2 | 39.4 | 34.3 | 437.3 | 150.0 | 694.0 | 1084.0 | 4.25 |

2.3 사용재료

2.3.1 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 PC 공장에서 사용 중인 국내 S사의 제 3종 포틀랜드 시멘트(조강시멘트)를 사용하였다. 사용된 조강시멘트의 물리·화학적 특성은 표 3과 같다.

2.3.2 골재

잔골재는 일반적으로는 세척해사를 사용하나, 본 실험

에서는 양질의 하천사를 사용하였다. 굵은 골재는 부순 골재를 사용하였으며 그 물리적 특성은 다음 표 4와 같다.

2.4 시험체 제작 및 양생

양생조건에 따른 물리 내구특성을 파악하기 위하여 압축강도용 공시체 $\Phi 10 \times 20$ cm 를 변수별로 각각 제작하였으며, 제작된 공시체는 증기양생실의 중앙에 준비한 뒤 양생조건에 따라 증기양생을 실시하였다.

현재 월드 터널용 프리캐스트 콘크리트 세그먼트 라

표 3. 조강시멘트의 물리·화학적 특성

| 물리적 특성 | 분말도 (cm ² /g) | 안정도 (%) | 응결시간(길모어시험) | | 압축강도(MPa) | | | |
|--------|--------------------------|---------|-------------|-----------|---------------------|------|---------------------|------|
| | | | 초결(분) | 종결(시간: 분) | 1일 | 3일 | 7일 | 28일 |
| | 4,716 | 0.05 | 230 | 5:40 | 18.5 | 28.8 | 39.2 | 49.9 |
| 화학적 특성 | 강열감량(%) | | MgO(%) | | SO ₃ (%) | | C ₃ A(%) | |
| | 1.4 | | 2.6 | | 3.7 | | 9 | |

표 4. 굵은 골재의 물리적 특성

| 시험항목 | | 결과 | 시험방법 |
|-----------------------------------|--------|------|-----------------|
| 입도(%) | 25 mm | 100 | KS F 2502: 2002 |
| | 20 mm | 96 | |
| | 10 mm | 34 | |
| | 5 mm | 7 | |
| | 2.5 mm | 2 | |
| 조립률 | | 6.59 | |
| 연석량(%) | | 0.6 | KS F 2516: 2002 |
| 표면건조 포화상태의 밀도(g/cm ³) | | 2.62 | KS F 2507: 2002 |
| 흡수율(%) | | 0.65 | |
| 입자모양관정 실적률(%) | | 56.8 | KS F 2527: 2002 |
| 경량편(%) | | 0.1 | KS F 2513: 2002 |

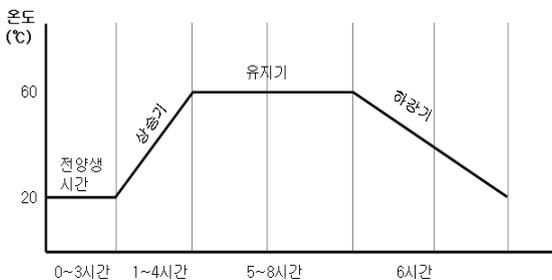


그림 1. 증기양생조건 모사 그래프



그림 2. 시험체의 증기양생 모습

이닝을 생산하고 있는 공정을 참고하여 0~3시간의 전양생시간, 1~4시간에 걸쳐 온도상승, 최대 양생 온도 60°C에서 6시간정도 유지, 온도 자연하강의 3단계로 증기양생을 실시하였다. 그림 1의 증기양생조건 모사 그래프를 보는 바와 같이 총 15~18시간동안 증기 양생실 내부에서 양생을 실시하였으며, 그림 2는 증기양생 모습을 나타낸 것이다.

2.5 실험방법

2.5.1 압축강도

양생조건별 콘크리트 성능 평가를 실시하기 위하여 대표적인 물리 성능인 압축강도 시험을 실시하였다. 하중은 공시체가 충격을 받지 않도록 고르게 가하였으며 하중속도는 KS F 2405 콘크리트 압축강도 시험 방법에 준하여 매초 0.6 MPa(=N/mm²)으로 재하 하였다.

2.5.2 염소이온 침투저항성

PC패널의 투수성은 강도뿐만 아니라 내구성에서도 중요한 의미를 갖는다. 투수성의 증가는 균열의 확장에 의해 강도를 저하시키는 작용뿐만 아니라 동결·융해 및 마모 등 내구성을 악화시킨다. 콘크리트 내부의 치밀함 정도를 평가함으로써 내구성을 간접적으로 판단할 수 있는 염소이온투과시험을 통해 양생조건별로 콘크리트의 내구성을 평가하였다.

본 실험에서는 ASTM C 1202(Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist

Chloride Ion Penetration) 에 준하여 실험을 실시하였다. 그림 3은 염소이온투과시험 모습을 나타낸 것이다.

3. 시험결과 및 분석

3.1 압축강도

3.1.1 전양생시간과 압축강도

전양생시간 변화에 따른 압축강도 변화를 파악하기 위하여 전양생시간을 다르게 하여 초기양생한 뒤 나머지 양생과정은 동일한 조건으로 실시하였으며 시험결과를 표 5 및 그림 4에 나타나 있다.

전양생시간 만을 변화시키고 온도상승구배 20°C/hr, 최고양생온도 60°C로 고정하여 압축강도 시험을 실시한 결과, 전양생시간이 길수록 압축 강도는 증가하는 것으로 나타났다. 전양생시간 0시간에 비하여 3시간을 두었을 경우 재령 1일에서 3.2 MPa의 강도가 증진되었으나 재령 28일에서는 강도 차이가 9.6 MPa로 나타나 재령이 지날수록 전 양생시간에 대비 강도발현이 비례하고

표 5. 전양생시간과 압축강도

| 압축강도 (MPa) / 전양생시간(hr) | 1일 | 14일 | 28일 |
|------------------------|------|------|------|
| 0 | 34.2 | 38.0 | 42.5 |
| 1 | 35.7 | 39.5 | 46.8 |
| 2 | 36.0 | 41.6 | 49.9 |
| 3 | 37.4 | 44.5 | 52.1 |



그림 3. 염소이온투과 시험 모습(ASTM C1202)

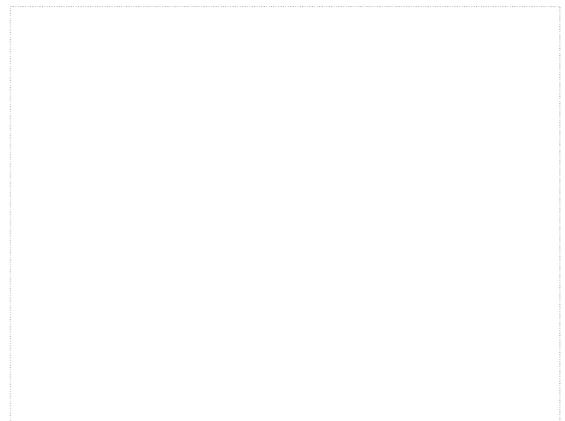


그림 4. 전양생시간과 압축강도

있음을 알 수 있다.

전양생시간에 비례하여 장기강도 증가의 주된 이유는 시멘트와 자갈과 물, 공기의 열팽창 계수가 다르기 때문으로 사료된다. 시멘트와 자갈은 거의 같은 열팽창 계수를 가지고 있으나 물과 공기에 있어서는 물은 20배, 공기는 200배의 열팽창 계수를 가지고 있는데 콘크리트가 이 팽창응력에 저항할 정도의 충분한 조기강도를 갖지 못하면 작은 수평균열이 발생하게 되며 온도상승률이 커질수록 큰 수평균열로 발달하게 되어 장기재령의 압축강도 저하의 원인으로 나타난 바 있다(Verbeck & Helmuth, 1968).

증기 양생 후 수중에서 양생시켰으므로 수화반응이 계속 진행되어 전양생시간을 두지 않은 공시체를 제외하고 모든 공시체가 설계강도 45 MPa 이상을 상회하는 결과를 나타내 증기양생 방법에 따른 압축강도 발현의 문제점은 발견되지 않았다.

전양생시간을 두지 않은 공시체의 재령 28일 강도 42.5 MPa를 기록해 설계 강도에 도달하지 못한 것으로 보아 구성 재료간의 열팽창압을 충분히 견딜 수 있는 인장강도를 지니지 못한 상태에서 내부에 회복할 수 없는 미세 균열이 발생하였다고 사료된 바 있다(이용종 등, 2005). 본 시험의 결과를 종합해 보면 최소 전양생시간을 1시간 이상에서 2시간 사이로 결정하는 것이 바람직하며 급격히 온도를 상승시키므로서 발생하는 콘크리트 매트릭스의 내부 구조변화를 동반한 평가가 이루어져야 정확한 전양생시간의 관계를 파악할 수 있을 것이라 판단된다.

3.1.2 온도상승구배와 압축강도

프리캐스트 부재를 위한 온도상승구배는 충분한 전양생이 이루어진 후에 적용되는 것으로 11~33℃까지 다양하다. 그러나 전양생 시간과는 관계없이 온도상승구

배가 작을수록 경제적이고 콘크리트 품질이 좋다. 콘크리트를 천천히 가열함으로써 얻을 수 있는 효과는 전양생시간을 길게 뚫으로써 얻을 수 있는 효과와 같다(Saul, 1955). 최대 온도구배는 33℃/hr 이하이고 전양생시간을 길게 할 경우 짧은 온도구배를 사용, 짧게 하였을 경우에는 긴 온도구배를 사용하는 것이 일반적이다. 프리캐스트 구조재를 위하여 일반적으로 22~33℃의 온도상승구배와 3~5시간의 전양생시간이 국외에서는 일반적으로 적용되고 있다(Hanson, 1965).

본 연구에서는 전양생시간을 3시간으로 충분히 양생시킨 후 최고 양생온도 60℃로 하여 온도상승구배를 다르게 하여 공시체의 물리적 특성을 비교하였다. 표 6은 온도상승구배에 따른 압축강도를 나타낸 것으로 결과를 살펴보면 압축강도는 온도상승구배 40℃/hr를 초과하였을 경우 강도 감소 패턴이 나타났으며, 재령 28일의 강도 값을 비교해보면 모든 공시체가 설계강도 이상을 상회하고 있다. 그림 5는 온도상승구배와 압축강도의 결과 값을 나타낸 것이다.

조기 고온이 후기 재령에서의 강도에 불리한 영향을 주는 이유는 Verbeck와 Helmuth에 의해 연구되었는데, 이는 초기에 높은 온도로 급속히 수화시키면 그 후의 수화반응이 지연되어 페이스트 내의 수화생성물의 분포가 불균일하게 되기 때문이라고 보고하고 있다(한민철 등, 1997; 한상훈 등, 2000). 또한 Saul은 콘크리트의 온도 상승속도가 약 2~3시간내에서 49℃, 6~7시간 미 안에서 99℃로 높게 올릴 경우 양생시간 이후의 강도증

표 6. 온도상승구배와 압축강도

| 온도상승구배(℃/hr) \ 압축강도 (MPa) | 1일 | 14일 | 28일 |
|---------------------------|------|------|------|
| 10 | 35.1 | 42.1 | 47.6 |
| 20 | 39.0 | 44.7 | 49.5 |
| 30 | 37.6 | 46.5 | 50.7 |
| 40 | 39.6 | 44.5 | 49.4 |

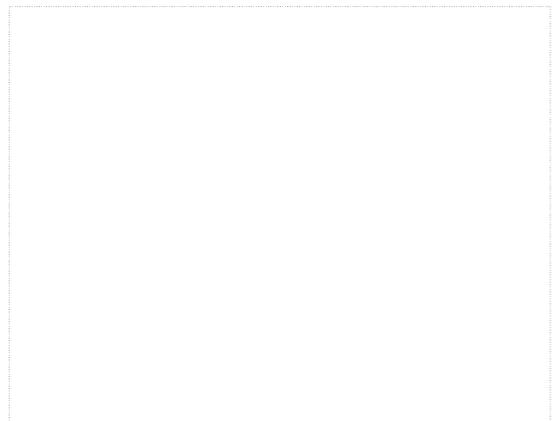


그림 5. 온도상승구배와 압축강도

진에 불리한 영향을 준다고 보고하고 있다(심중성 등, 2003).

현장에서는 대부분 부재를 증기양생 한 후 2차 양생을 실시하지 않은 상태에서 제품 보관 후 출하시키고 있어, 본 실험결과에서 40°C/hr 보다 높은 온도상승구배를 적용할 경우 설계 강도 값은 만족하나 압축강도 증가율이 감소하는 경향이 있으므로 콘크리트 매트릭스 내에 미세 균열이 발생되었음을 간접적으로 알 수 있다. 따라서 안정한 강도발현을 통한 적정 강도 및 장기내구성 확보가 가능한 고품질 PC 패널 생산에 사용할 수 있는 적정 온도상승구배는 10°C~20°C 내외가 적당하다고 판단된다.

3.2 염소이온 침투 저항성 시험

염소이온 투과에 의한 전하량 측정방법에 따라서 전양생시간과 온도상승구배를 다르게 한 재령 28일 공시체의 투과성을 측정하였다.

표 7은 ASTM C 1202에 명시되어 있는 D.C 60V 전압을 흘려보냈을 때 염소이온 투과 전하량에 대한 콘크리트의 투수성능 평가기준을 나타낸 것이다.

3.2.1 전양생시간과 염소이온 침투저항성

본 시험은 콘크리트의 간접적인 내구성 평가 방법으로서 콘크리트 내부의 경화구조에 따른 염소이온 투과 정도로 평가하는 방법이다. 온도구배는 20°C/hr로 고정 한 뒤 최고양생온도를 60°C로 설정하고 전양생시간을 다르게 하여 공시체를 양생하였다. ASTM에서 제시된 평가기준과 비교하여 볼 때 표 8 및 그림 6을 살펴보면 전양생시간이 없는 경우와 1시간 정도 전양생을 실시할 경우에는 재령 28일의 통과전하량이 “high”를 기록하고 있다. 같은 배합으로 전양생시간을 2시간 이상으로 하였을 경우 통과전하량이 “moderate”를 기록하여 초기 전

표 7. ASTM에서 제시한 염소이온 투과 평가기준

| Charge passed (Coulombs) | Chloride permeability |
|--------------------------|-----------------------|
| > 4,000 | High |
| 2,000~4,000 | Moderate |
| 1,000~2,000 | Low |
| 100~1,000 | Very Low |
| <100 | Negligible |

양생시간을 충분히 둔 콘크리트의 경화구조가 치밀해져 장기적인 내구성 측면에서도 매우 양호한 것으로 사료된다.

3.2.2 온도상승구배와 염소이온 침투저항성

전양생시간을 3시간으로 충분히 양생시킨 후 최고 양생온도 60°C로 하여 온도상승구배를 다르게 하여 공시체를 제작한 후 재령 28일의 염소이온 침투저항성을 측정하였다. 표 9는 온도상승구배에 따른 염소이온 통과전하량을 나타낸 것이다.

그림 7은 온도상승구배에 따른 염소이온 통과 전하량을 나타낸 것이다. 결과를 살펴보면 염소이온 투과전하량은 온도상승구배 20°C/hr를 초과하였을 경우 표7의 ASTM에서 제시한 염소이온 투과 평가기준의 “high”를 나타내었으며, 온도상승구배 10°C/hr 일 때 만 “moderate”를 나타내었다. 온도상승구배에 따른 염소이온 투과 전하량은 전양생시간의 차이보다 그 영향이 작았다. 온도상승구배의 결과를 종합하여 보면 온도상승구배가 10°C/hr 일 때 가장 치밀한 경화구조를 보였으며 압축강도 발현 또

표 8. 전양생시간에 따른 염소이온 통과 전하량

| 전양생 시간(hr) | 압축강도(MPa) | | | Mean | Evaluation |
|------------|-----------|-------|-------|-------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | | |
| 0 | 6,578 | 7,808 | 7,013 | 7,133 | High |
| 1 | 4,059 | 5,532 | 5,142 | 4,911 | High |
| 2 | 4,020 | 3,715 | 3,962 | 3,899 | Moderate |
| 3 | 3,512 | 4,015 | 4,135 | 3,887 | Moderate |

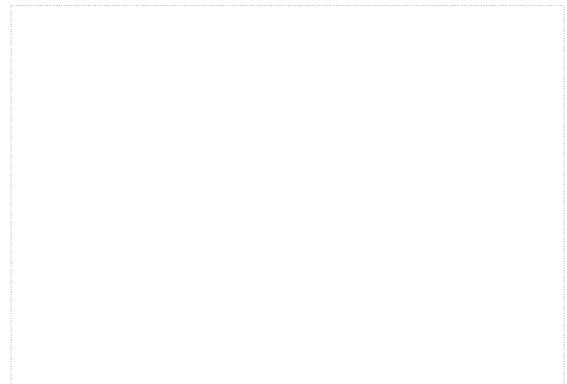


그림 6. 전양생시간에 따른 염소이온 통과 전하량 결과

표 9. 온도상승구배에 따른 염소이온 통과 전하량

| 온도상승 구배(°C/hr) | 압축강도(MPa) | | | Mean | Evaluation |
|----------------|-----------|-------|-------|-------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | | |
| 10 | 3,457 | 3,784 | 4,135 | 3,792 | Moderate |
| 20 | 4,142 | 5,001 | 4,562 | 4,568 | High |
| 30 | 4,569 | 5,142 | 5,035 | 4,915 | High |
| 40 | 6,012 | 6,914 | 6,234 | 6,386 | High |

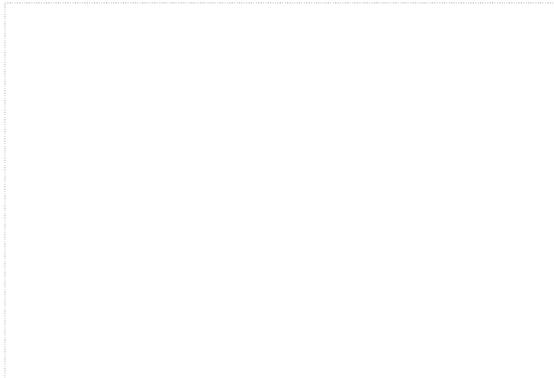


그림 7. 온도상승구배에 따른 염소이온 통과 전하량

한 우수하여 PC패널 증기양생 시 적절한 온도상승구배는 10°C~20°C 내외가 적당하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 증기양생 조건에 따른 압축강도와 염소이온투과저항성에 미치는 영향을 연구하였고, PC 패널과 같은 대단면 콘크리트 2차제품의 적정 증기양생조건을 도출하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 증기양생 시 전양생기간이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 살펴본 결과, 전양생시간 0시간에 비하여 3시간을 실시하였을 경우 초기 1일 재령 보다 장기 재령으로 갈수록 압축강도 발현율이 더욱 우수하게 나타났다.
2. 온도상승구배에 따른 재령 28일 압축강도는 모든 배합이 설계 강도에 도달하였으나, 온도상승구배 40°C/hr를 초과하였을 경우에는 강도 감소 패턴이 나타나 콘크리트 매트릭스 내에 미세 균열이 발생

되었음을 간접적으로 알 수 있었으며, 안정한 강도 발현 및 장기내구성 확보가 가능한 적정 온도상승구배는 10°C~20°C 내외로 나타났다.

3. 전양생기간이 없는 경우와 1시간 정도 전양생을 실시할 경우에는 재령 28일의 통과전하량이 High를 기록하였으며, 전양생시간을 2시간 이상으로 하였을 경우 통과전하량이 Moderate를 기록해 초기 전양생시간을 초기 2시간 이상 확보해야 장기 내구성 측면에서 우수할 것으로 판단된다.
4. 온도상승구배에 따른 염소이온통과전하량을 살펴보면 10°C/hr 일때만 Moderate를 나타내었으며 온도상승구배에 따른 염소이온 투과 전하량은 전양생시간의 차이보다 그 영향이 적었다. 증기양생 시 온도상승구배를 10°C/hr~20°C/hr로 실시하면 우수한 장기내구성 확보를 기대할 수 있으며 안정적인 압축강도 발현도 만족할 수 있을 것이라 판단된다.
5. 증기양생 조건에 따른 PC패널의 물리성능을 검토한 결과 최소 전양생시간은 최소 2시간이상, 온도상승구배는 10°C/hr~20°C/hr 이내로 실시할 때 가장 우수한 성능을 나타내었다.

본 연구에서 도출된 PC패널의 최적양생조건은 국내 PC제품 생산업체의 증기 양생실에서 충분히 적용 가능한 조건이라 판단된다. 따라서 국내 업체가 실무에 적절히 적용하여 생산한다면 강도뿐만 아니라 고품질, 고내구성 PC패널의 생산이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 건설핵심기술개발사업인 “신개념 NATM Composite 라이닝 공법 개발 연구” 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 고경택, 정해문 (2005), 양생온도에 따른 콘크리트 특성, 한국콘크리트학회지, 제17권 제1호, pp. 22-27.
2. 심종성, 박성재, 이희철 (2003), 증기양생한 플라이애쉬 혼입 재생골재 콘크리트의 강도특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 논문집, 제15권 제2호, pp. 326-329.

3. 이웅중, 이원암, 엄태선 (2005), 증기양생 온도조건에 따른 조강시멘트 콘크리트의 강도발현특성 및 내염특성, 한국콘크리트학회 논문집, 제17권 제2호, pp. 599-602.
4. 한민철, 김기범, 이대우 (1997), 양생온도 변화에 따른 시멘트 모르타의 강도발현 성상에 관한 연구, 한국콘크리트학회 논문집, 제9권 제1호, pp. 3-9.
5. 한상훈, 김진근, 송영철 (2000), 콘크리트의 재료역학적 성질에 대한 양생온도와 재령의 효과, 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 제6호, pp. 23-34.
6. Saul, A.G.A. (1955), "Principles underlying the steam curing of concrete at atmospheric pressure", Cement Concrete Association, Tech. Rep. TRA/196, London.
7. ACI Committee 517 (1969), "Recommended practice for atmospheric pressure steam curing of concrete", Journal ACI, Vol. 66, pp. 629-646.
8. Verbeck, G.J., Helmuth, R.A. (1968), "Structures and physical properties of cement paste", Proc. 5th Int. Symp. on the Chemistry of Cement, Tokyo, Part III.
9. Hanson, J.A. (1965), "Optimum steam curing procedures for structural lightweight concrete", Journal ACI, Vol. 62, pp. 661-672.
10. ASTM C 1202 "Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration".



마 상 준

한국건설기술연구원
지반방재환경연구실
책임연구원

E-mail: sjma@kict.re.kr



장 필 성

한국건자재시험연구원
신뢰성평가센터
연구원

E-mail: psjang@kicm.re.kr



신 진 용

한국건자재시험연구원
신뢰성평가센터
선임 연구원

E-mail: sol-gel@hanmail.net



남 관 우

(주)태영건설
상무

E-mail: namkw@taeyoung.com