

탈수섬유시트 거푸집을 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구

The Properties of Concrete with Permeability Liners("CON-SILK") on the Formwork

구 봉 근* 서 치 호** 유 택 동*** 박 재 성****
Koo, Bong-Kuen Seo, Chee-Ho Yoo, Taek-Dong Park, Jae-Seong

Abstract

Concrete surface is a part that resists chiefly to carbonation by carbonic acid gas, affluence of rainwater and air, deterioration by freezing thawing, salt damage by seawater, and other chemical erosion etc. Therefore, this research analyzed physical characteristic and durable characteristic of concrete eliminated glut water and bubble of concrete surface using CON-SILK that is permeated with dehydration. As a research result, concrete using CON-SILK was improved, in comparison with concrete using general formwork, in physical performance and durability of concrete, as surface hardness, carbonation resistivity, and salt content permeation resistivity etc. Therefore, we could know that it is effective to use CON-SILK in performance elevation of concrete surface.

Keywords : concrete surface, CON-SILK, dehydration, durability, formwork

1. 서 론

건축 및 토목 구조물의 구조요소로서 많은 부분을 차지하고 있는 콘크리트는 다른 재료에 비해 내구성 측면에서 우수한 것으로 인식되고 있으나 시공초기부터 외부의 물리적 또는 화학적인 환경조건과 콘크리트 본래의 내재적인 조건에 의해 계속적인 성능저하가 발

생된다. 때문에 아무리 품질이 좋은 콘크리트라 할지라도 성능저하는 발생하게 된다.

특히, 콘크리트 표층부는 고품, 골재분리, 타설이음부, 균열 등의 결점을 지니며, 이러한 결점을 통해 공기 혹은 빗물 유입과 탄산가스 등에 의한 중성화, 동결융해에 의한 열화, 해수에 의한 염해, 기타 화학적 침식 등이 발생하게 된다.

* 정희원, 충북대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 정희원, 건국대학교 건축대학 건축공학과 교수, 공학박사

*** 정희원, 건국대학교 건축대학 건축공학과 강의교수

**** 정희원, (주)대우건설 토목사업본부

E-mail : jspark0602@hanmail.net 011-9408-2602

•본 논문에 대한 토의를 2003년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2003년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

따라서, 상기 성능저하 현상의 내·외적인 요인들에 대하여 저항하는 일차적인 보호층으로 작용하는 콘크리트 표층부가 콘크리트의 취약성을 결정하는 중요한 요인이 된다.

그러한 이유로 콘크리트의 표면강화를 위해서 콘크리트 타설 후 추가로 표면보호기능을 갖는 표면보호제를 도포⁽⁴⁾하거나, 전 구조체를 고강도의 콘크리트로 시공하는 것이 요구되고 있으나, 표면보호제의 경우 재료 및 시공비가 고가이고, 내구성에 한계가 있으며, 고강도 콘크리트의 경우 과도한 재료비의 추가 외에 수화열 등에 의한 2차적인 균열 등이 문제로 대두되고 있다.

본 연구에서는 섬유시트(이하 'CON-SILK')를 거푸집에 부착시켜 콘크리트 타설 직후 표층부의 잉여수에 대한 탈수를 시키는 공법^{(1),(2),(3)}에 대하여, 일반 거푸집공법의 콘크리트와 물리적 특성 및 내구특성을 비교 평가하며, 이에 대한 정량적 분석을 하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

- (1) 시멘트 : 본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201 (포틀랜드 시멘트)⁽⁵⁾의 규정에 적합한 S사 제품인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.
- (2) 물 : 본 실험에 사용한 물은 KASS 05010. 2.13의 규정에 따라 상수도수를 사용하였다.
- (3) 골재 : 공시체 제작에 사용한 잔골재는 강모래를 잔골재로 사용하였고 굵은골재는 채석(최대 치수 25mm)을 사용하였다. 잔골재와 굵은골재는 소요의 표준입도를 만족하였다.
- (4) 섬유시트 : 섬유시트는 일반 거푸집에 덧대어 거푸집에 탈수성능^{(6),(7)}을 부여하는 것으로 두 장의 시트로 구성되어 있다. 폴리에스테르로 이루어진 투수시트와 폴리에틸렌으로 만들어진 배수시트의 두겹으로 구성되어 있다. 다음 Table 1은 시트에 관한 물리적 성능을 나타낸 것이다.

Table 1 시트(CON-SILK)의 물리적 성능

구분	중량 (kgf/m ²)	인장강도(kgf)		인장신도(%)		투수계수 (cm/s)
		경사	위사	경사	위사	
투수시트	161.3	152.4	135.7	22	21	1.2×10 ⁻³
배수시트	167.1	85.7	44.1	43	73	-

2.2 시험항목

(1) 탈수량 측정 시험(중량감소법)

탈수거푸집에 의한 탈수량을 측정하기 위해 200×200×200의 정방형의 사각 몰드를 각 물-시멘트비에 따라 3개의 시험체를 제작하였다. 탈수량 측정은 먼저 몰드의 무게를 측정한 뒤, 몰드에 콘크리트를 타설하고 즉시 총 중량을 측정하여 이를 기준중량으로 정하였다. 이후 일정 시간 간격으로 중량을 재어 기준중량에 대한 중량감소율을 백분율로 구한다.

(2) 응결 경화 시험

KS F 2436(관입 저항침에 의한 콘크리트의 응결 시간 시험방법)⁽⁸⁾에 의해 시행되어 초결은 관입저항 35 kgf/cm², 종결은 280 kgf/cm²가 될 때까지의 소요시간을 말한다.

(3) 압축강도 시험

압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험방법)⁽⁹⁾에 따라 공시체 높이와 재하되는 면의 면적을 측정하여 평균한 값으로 단면적을 계산한 후, 공시체가 시험기의 가압판 중앙에 위치하도록 하고, 매 초당 2~3 kgf/cm²의 속도로 공시체가 파괴될 때까지 하중을 가하였다.

(4) 반발경도 시험

반발경도 시험은 시험체의 표면을 햄머로 타격한 후 반발도를 측정하여 추정하였으며, 타격점은 20개점을 원칙으로 하고, 타격점 상호간의 간격은 3cm를 표준으로 하였다.

(5) 초음파 속도

초음파 속도의 측정은 측정대상 시험체 면에 그리이스를 발라 단자와 공시체면 사이에 공극이 발생되지 않도록 하여 재령 28일의 시험체를 길이 방향으로 측정하여 평균치로 하였다.

(6) 중성화 촉진시험

촉진중성화 시험은 전양생기간 8주 경과 후 온도 20±2℃, 상대습도 60±5%, 탄산가스농도 5±0.2%의 조건으로 시험을 행하였으며, 측정은 소정의 재령에 달한 시점에서 시험체의 장변방향과 직각으로 공시체를 절단한 후, 1%의 페놀프탈레인 용액을 분사하여 콘크리트 표면에서 착색부분까지의 거리를 1측면 당 5개소씩 버어니어 캘리퍼스로 측정하여 평균한 값을 중성화 깊이로 판정하였다.

(7) 염분 침투저항 시험

시험은 비색판별법 기준에 의거하였으며, 4주간 수증양생 후 10%의 NaCl 용액에 침지시켜 재령 1주, 2주, 4주에 염소이온 침투깊이를 측정하였다. 또한 염분침투 깊이 측정은 0.1% 플로레센나트륨(C₂H₁₀O₅Na₂) 용액을 분무하고 0.1N 질산은(AgNO₃) 용액을 분무하여 나타나는 색의 변화 깊이를 측정하였다.

(8) 동결 융해저항성

콘크리트의 동결융해 작용에 의한 성능저하 및 내구성을 측정하기 위한 시험은 KS F 2456(급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험법)⁽¹⁰⁾, ASTM C 666 (Resistance of concrete to rapid freezing and thawing)⁽¹¹⁾의 규정에 따라 8×10×40 cm의 시험체를 제작하여 2주간 수증양생을 실시한 후 동결융해 시험장치를 사용하여 KS F 2456(급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항시험법)의 시험방법 중 B의 방법으로 기중동결, 수중융해의 조건으로 콘크리트 시편에 간극수의 빙점 이하의 온도와 빙점 이상의 온도를 주기적으로 가하여 실험을 실시한다.

동결융해 시험 이후의 손상은 일정한 주기로 동탄성계수를 측정하여 판단하며, 동탄성계수는 초음파속도법, 공명 진동수 측정법으로 측정된다.

본 실험에서는 초음파속도법에 의하여, 초음파 속도를 측정하여 다음식에 의해 동탄성계수 Ed를 구한다.

$$E_d = \frac{V_p \times \rho \times 10^2}{g} \quad (1)$$

여기서,

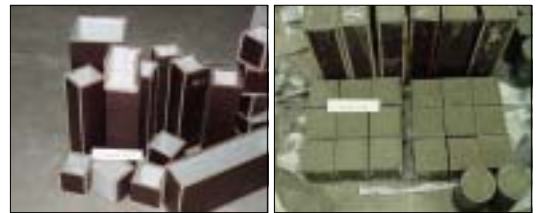
- E_d : 동탄성계수(kgf/cm²)
- g : 중력 가속도(kgf/sec²)
- V_p : 초음파전달속도(km/sec)
- ρ : 콘크리트 밀도(kgf/cm³)

2.3 사용배합

시험체의 배합은 Table 2와 같고 시험체 제작을 위한 장면은 Fig. 1과 같다.

Table 2 시험체 배합계획

W/C (%)	물 (kg/m ³)	단위재료량(kg/m ³)			
		시멘트	플라이 애쉬	잔골재	굵은 골재
40	147.20	324.00	44.00	827.93	971.92
45	165.60	324.00	44.00	806.77	947.08
50	184.00	324.00	44.00	785.61	922.24



(a) 시험체 거꾸집 (b) 시험체 제작

Fig. 1 실험장면 사진

3. 실험결과 및 고찰

3.1 단위용적중량

물-시멘트비에 따른 단위용적중량의 실험결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서와 같이 단위용적 중량의 범위는 시트거꾸집 시험체의 경우, 물-시멘트비 40, 45, 50%에서 단위용적중량은 2,337~2,392 kgf/m³의 범위를 보였으며, 일반거꾸집 시험체에서는 2,330~2,378 kgf/m³의 값을 보였다.

전체적으로 시트거꾸집 시험체가 일반거꾸집 시험체보다 높은 단위용적중량을 보이는 것으로서, 물-시멘트비 40%에서는 0.46%, 45%에서는 0.3%, 50%에서는 0.56%의 단위용적중량의 증가를 나타내었다.

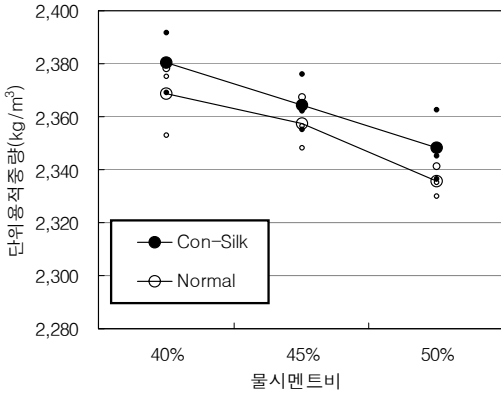


Fig. 2 물-시멘트비에 따른 단위용적중량 실험 결과

3.2 탈수량

탈수시트를 이용한 거푸집 공법의 가장 중요한 특성을 만들어 내는 탈수량에 대한 정량적인 분석을 위하여 시험체 제작후 응결 경화시간에 따른 탈수량 측정 시험⁽¹²⁾을 하여, Fig. 3과 Fig. 4와 같은 결과를 얻어내었다. 탈수량 측정 결과, 300분이 경과시 시트거푸집 시험체의 경우 각 물-시멘트비(40%, 45%, 50%)로 중량감소가 평균 0.093, 0.113, 0.127 kgf이며, 일반 거푸집 시험체의 경우는 0.047, 0.067, 0.067 kgf의 중량감소를 나타냈다.

이를 처음 측정된 총중량에 대한 중량감소율은 시트거푸집 시험체가 0.49%, 0.59%, 0.67%의 값으로 물-시멘트비에 따라 증가하였으며, 일반거푸집 시험체의 경우 0.25%, 0.34%, 0.36%의 값을 보였다.

시험체의 중량감소가 타설 후 물의 증발과 물의 배출에 의해 나타난다고 할 때, 시트 거푸집 시험체와 일반거푸집 시험체의 중량감소 차이가 실제 시트에 의해 배출된 물의 양으로 볼 수 있다. 결국, 시트(CON-SILK)에 의한 탈수량은 물-시멘트비(40%, 45%, 50%)로 총중량의 0.24, 0.25, 0.31%로 추정된다.

Fig. 4에서 탈수효과가 이루어지는 부분을 표층에서 10mm로 설정하면, 표층부의 물-시멘트비는 32.1%, 36.8%, 40.0%로서 평균 20%가 낮아지게 되

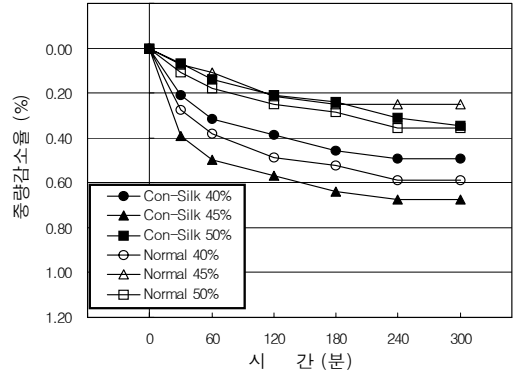


Fig. 3 시험체별 시간경과에 따른 중량감소율 변화

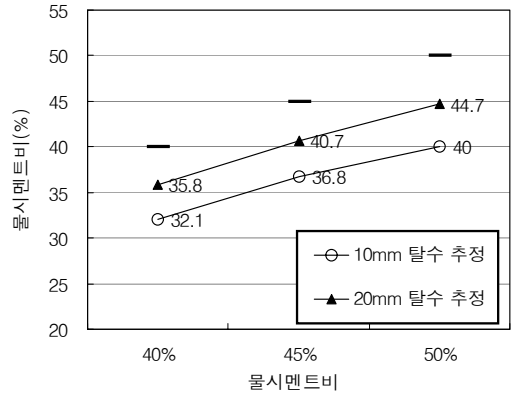


Fig. 4 탈수에 따른 표층부 추정 물-시멘트비

며, 20mm로 설정하면, 35.8%, 40.7%, 44.7%로 평균 10% 낮아지게 된다.

3.3 응결경화속도

물-시멘트비 45%와 50%에 대한 응결경화속도에 대한 결과는 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5와 같이, 물-시멘트비 45%에서 시트거푸집 시험체는 초결 및 종결은 각각 3시간 45분, 4시간 55분 경과 후에 나타났으며, 물-시멘트비 50%에서는 시트거푸집 시험체가 4시간 30분 및 6시간 15분 경과 후에 초결과 종결이 일어나, 일반거푸집 시험체보다 10분 가량 빠르게 나타났다.

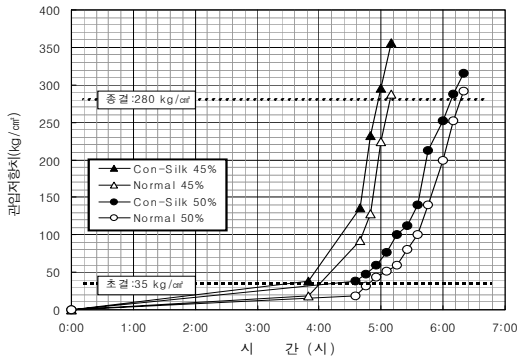


Fig. 5 응결경화시험 결과

3.4 압축강도

압축강도는 재령 3, 7, 28일에 대해서 Fig. 6과 같이 결과를 제시하였다. 재령 3일의 경우, 시트거푸집 시험체가 물-시멘트비 40%, 45%, 50%에서 평균 170, 174, 121kgf/cm²의 값을 보였으며, 일반거푸집 시험체에서는 164, 157, 115 kgf/cm²로 나타나, 시트거푸집 시험체가 일반거푸집 시험체에 비해 각각의 물-시멘트비에서 3.7%, 10.8%, 5.2%의 강도증진의 성능 향상을 보였다.

재령 7일에서는, 시트거푸집 시험체가 물-시멘트비에 따라 평균 229, 235, 179 kgf/cm²의 값을 보였으며, 일반거푸집 시험체는 225, 227, 170 kgf/cm²로 나타났다. 이는 시트거푸집 시험체가 일반거푸집 시험체에 비해 각각의 물-시멘트비에서 1.8%, 3.5%, 5.3%의 강도증진을 보이는 값이다.

또한, 재령 28일에서의 압축강도 결과 역시, 시트거

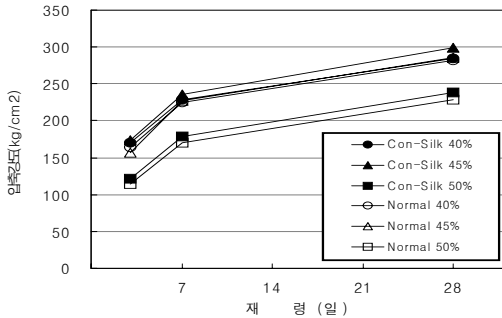


Fig. 6 재령에 따른 압축강도 실험 결과

푸집 시험체가 평균 284, 299, 238 kgf/cm²의 값을 나타냈으며, 일반거푸집 시험체는 281, 286, 228 kgf/cm²의 값으로, 물시멘트비에 따라 1.1%, 4.5%, 4.4%의 강도증진이 되었음을 보여준다.

3.5 반발경도

시트거푸집 시험체의 슈미트 햄머에 의한 반발경도는 재령 28일에서 물-시멘트비 40%에서 시트거푸집 시험체가 39~45, 일반거푸집 시험체는 33~35로 나타났다. 45%, 50%에서도 동일한 경향이 나타나 시트거푸집 시험체는 40~44, 42~46의 값을 보였으며, 일반거푸집 시험체는 30~34, 31~34의 값을 나타냈다. 이는 각각의 물-시멘트비에 대하여 26.5%, 27.3%, 37.5%의 표면 반발경도의 증진을 보였다.

3.6 초음파속도

제조된 콘크리트 내부의 치밀한 정도를 파악하기 위하여 실시한 초음파속도는 영국 C.N.S社의 PUNDIT를 사용하여 측정하였다. 측정결과, 시트거푸집 시험체의 경우, 물시멘트비 40%, 45%, 50%에 대하여 각각 4,359, 4,327, 4,237 m/s의 속도를 보이며, 일반거푸집 시험체에서는 4,341, 4,236, 4,113 m/s의 속도를 나타내었으며, 이는 각각의 물-시멘트비에 대하여 0.41%, 2.1%, 3.0%의 속도 증진을 보였다.

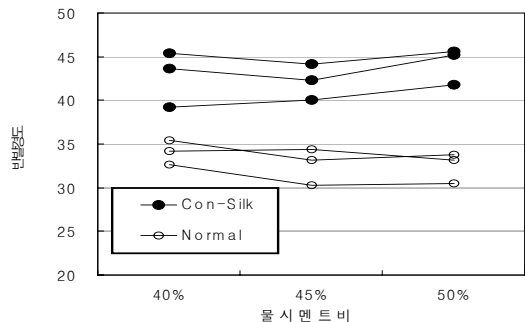


Fig. 7 반발경도 시험 결과

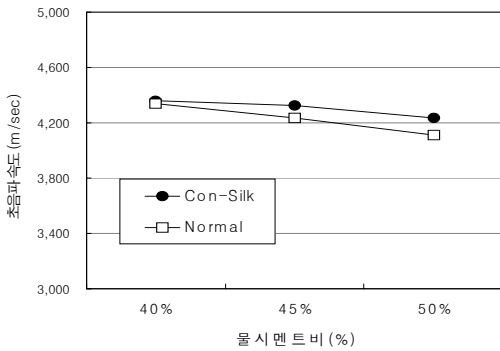


Fig. 8 재령에 따른 초음파 속도

3.7 축진중성화

일반거푸집 시험체의 경우 축진재령 1주까지는 중성화가 이루어지지 않았으나 축진재령 2주 0.75~1.92 mm, 축진재령 4주에는 1.44~2.14 mm까지 중성화가 진행되었다. 이에 반해 시트거푸집 시험체는 축진재령 4주까지는 중성화가 진행되지 않은 것으로 나타났다. Fig. 9는 2주와 4주에 걸친 물-시멘트비 45%에서의 중성화 실험결과를 나타낸 사진이다.

3.8 염분 침투 저항성

Fig. 10과 같이, 염분 침투 저항성 시험을 실시한 결과, 시트거푸집 시험체는 축진재령 1주에 6.68~8.41 mm, 일반거푸집 시험체의 경우 8.50~9.12 mm의 깊이까지 염소이온의 침투가 이루어졌다.

축진재령 2주 및 4주의 측정결과는 시트거푸집 시험체가 8.75~9.89, 10.52~12.41 mm까지 진행

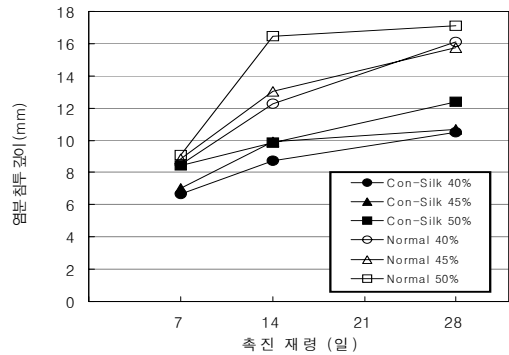


Fig. 10 재령에 따른 염분침투깊이

되었으며, 일반거푸집 시험체에서는 12.26~16.48, 15.74~17.11 mm의 깊이까지 진행되었다. 한편 Fig. 11은 2주와 4주의 염소이온 침투 실험 결과의 시편을 나타낸다.

3.9 동결융해 저항성

콘크리트의 내구특성 중 동결융해 작용에 의한 성능저하 정도를 평가하기 위하여 동결융해저항성 시험을 실시하였고 Fig. 12에 결과를 나타내었다.

실험결과, CON-SILK 시험체는 동결융해 cycle의 경과에 따른 급격한 저하가 없는 점차적인 성능저하를 보여 상대동탄성계수는 300 cycle 경과후 83.2~87.9%의 값을 보이는 것으로 나타났으며, 기준 시험체에서는 물시멘트비 40%의 경우에는 점차적인 성능저하를 보였으나, 45%와 50%에서는 120 cycle 이후 급격한 성능저하를 일으켜 300 cycle에서 기준치 이하의 40~45%의 값을 보였다.



(a) 2주 중성화 시험결과(실험실) (b) 4주 중성화 시험결과(실험실)

Fig. 9 중성화된 시험체



(a) 2주 염소이온침투 시험결과(실험실) (b) 4주 염소이온침투 시험결과(실험실)

Fig. 11 염소이온 침투 실험 결과 시험체

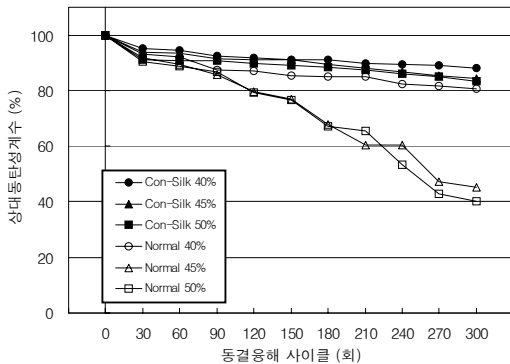


Fig. 12 동결융해 저항성 시험 결과

4. 결론

섬유시트 거꾸집을 사용한 콘크리트의 물리적 특성 및 내구특성을 일반거꾸집 콘크리트와 비교 평가한 결과는 다음과 같다.

- 1) CON-SILK 시험체는 일반콘크리트 시험체보다 높은 단위용적중량을 보이며, 콘크리트 타설후, 비중이 낮은 잉여수의 배출로 인한 상대적 효과인 것으로 판단된다.
- 2) 시험체의 중량감소가 타설 후 물의 증발과 물의 배출에 의해 나타난다고 할 때, CON-SILK 시험체와 기준 시험체의 중량감소 차이가 실제 CON-SILK에 의해 배출된 물의 양으로 볼 수 있다. 또한, 탈수 거꾸집에 의해 물을 배출시킬 수 있는 영역이 수십 mm로 보고되고 있는 것을 고려한다면, 표면으로부터의 탈수량으로 환산하여 평가할 필요가 있다고 사료된다.
- 3) CON-SILK 시험체의 물의 배출은 타설 후 2시간 경과시 총 탈수량의 80% 이상 이루어지고, 초결이 이루어지는 4시간 이내에서 총탈수량의 대부분이 배출되어지는 것으로 나타났다. 이는 탈수에 의한 콘크리트의 체적변화가 일어나더라도 이는 초결 이전 즉, 콘크리트 구조가 아직 고체화되기 이전에 발생함으로 인해 콘크리트의 구조적 결함을 발생시키지 않을 것임을 확인할 수 있다.
- 4) 재령에 따른 압축강도증진의 효과는 재령별로 3일에 평균 6.6%, 7일 3.5%, 28일 3.3%의 증가하는

값을 보여, CON-SILK를 사용한 콘크리트의 초기재령에서 강도증진의 효과가 크을 알 수 있다.

- 5) 압축강도가 시험체 전체에 작용하는 응력에 대한 결과값인데 비해, 반발경도는 표층부에 한정된 것임에 기인하는 것으로, CON-SILK 거꾸집에 의한 탈수가 특히 표층부에서 일어나며 이를 통해 성능향상이 나타났음을 추정할 수 있었다.
- 6) 초음파 속도는 압축강도, 반발경도의 성능향상이 재령이 증가함에 따라 둔화되는 것과 달리 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 이는 탈수에 의한 콘크리트의 밀실화가 장기적으로도 콘크리트의 성능향상에 유효하고 내구성 향상에 우수한 것임을 나타내었다.
- 7) 중성화속도가 콘크리트의 밀실성에 직접적인 영향을 받으며, 물-시멘트비와 비례함을 고려하면, CON-SILK 거꾸집에 의한 시험체의 표층부가 기준 시험체에 비해 매우 낮은 물-시멘트비를 이루어 밀실해짐을 추정할 수 있었다.
- 8) 탈수거꾸집의 염분 침투깊이가 일반거꾸집에 비해 33~55%의 범위를 가지는 것과 유사한 범위를 나타내는 것을 확인할 수 있었고, 이를 통해 CON-SILK에 의한 표면수량 감소를 통한 표층부의 밀실성이 확보되었음을 추정할 수 있었다.
- 9) CON-SILK에 의한 탈수로 인하여, 콘크리트 표면의 잉여수 및 공기가 배출되어 콘크리트의 표층부가 밀실하게 됨으로써 동결융해에 우수한 저항성능을 나타낸 것으로 판단된다.

이상과 같이 시트거꾸집을 사용한 콘크리트에 대한 물리적 성능 평가 및 내구성 평가를 실시한 결과 일반거꾸집에 비하여 콘크리트의 표층부 성능향상에 효과가 있는 것으로 나타났다.

따라서, 표층부의 성능에 의해 영향을 받는 염해, 중성화 지연, 균열방지 등의 내구성이 특별히 필요한 구조물이나 방수처리가 필요한 지하구조물, 별다른 마감 없이 아름다운 콘크리트의 표면이 요구되는 구조물에 적용이 가능할 것으로 기대된다. 아울러 시트거꾸집을 사용한 콘크리트에 대한 시공성, 경제성 등의 다양한 분석이 이루어지기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 (주)대우건설과 (주)대한콘설탄트 및 (주)에이씨이테크의 연구비(자재) 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 최광윤 외, 유공거푸집을 이용한 콘크리트표층부 치밀화에 관한 실험적 연구(Ⅰ), 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제 19권 2호, 1999.10.
2. 송진홍, 콘크리트의 성능개선을 위한 탈수거푸집공법의 실용화 연구, 동아대 산업대학원 석사학위논문, 2002.
3. 정재동, 유공거푸집을 이용한 콘크리트표층부 치밀화에 관한 실험적 연구(Ⅱ), 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제 22권 1호, 2002.4.
4. Long, A. E., Sha'at, A. A., and Basheer, P. A. M., The influence of controlled permeability formwork on the durability and transport properties of near surface concrete, American Concrete Institute, 1995.
5. KS L 5201 (포틀랜드 시멘트).
6. Cairns, J., Enhancements in surface quality of concrete through use of controlled permeability formwork liners, Magazine of Concrete Research, Vol. 51, No. 2, 1999.
7. Long, A. E., A comparative study of three types of controlled permeability formwork liners, Radical Concrete Technology, London, 1996.
8. KS F 2436 (관입 저항침에 의한 콘크리트의 응결시간 시험방법).
9. KS F 2405 (콘크리트의 압축강도 시험방법).
10. KS F 2456 (급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법).
11. ASTM C 666 (Resistance of concrete to rapid freezing and thawing).
12. U.S. Patent Office, Laminated fabric useful as a concrete form liner, 1994.

(접수일자 : 2003년 1월 17일)