



투수시트를 적용하여 잉여수를 탈수한 콘크리트의 강도 특성

전규남¹⁾ · 안기홍¹⁾ · 이종석^{1)*}

¹⁾한국건설기술연구원 인프라구조연구실

Characteristics of Excess Water Dewatered Concrete Using Permeable Liner

Kyu-Nam Jeon,¹⁾ Gi-Hong An,¹⁾ and Jong-Suk Lee^{1)*}

¹⁾Structural Engineering Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

ABSTRACT In this study, to enhance the quality of concrete surface by removing the surplus water, permeable liner attached the euroform was applied for manufacturing concrete specimens. Various kinds of concrete mixtures with different water to binder ratios were applied and the strength properties of the hardened concrete surfaces were evaluated at different heights. Experimental results showed that the rebound values by schmidt hammer test and the compressive strengths on the surfaces of concrete specimens were increased as proportion to the amount of mixture water which is dependent on the water to binder ratio of each concrete mixture, and more enhancements were observed on the middle and lower specimen surfaces than the upper region. SEM analysis also showed that much denser hydrate structures were observed on the specimen surfaces by the application of the permeable liner while similar hydrate formations were occurred regardless of surface treatment conditions. From the MIP test results of the concrete surfaces, it was observed that, by the application of permeable liner, the pore volume below 0.01 μm was decreased with a maximum of 50% resulting in the densification of pore structures.

Keywords : permeable liner, lateral pressure, dewatered quantity, water to binder ratio, placing height

1. 서 론

콘크리트의 강도를 결정짓는 요소들로는 양생조건, 물-시멘트비, 공기량, 혼합시간 등이 있는데, 이중 물-시멘트비의 경우 수화에 필요한 수량은 결합수와 겔수를 포함하여 약 30% 이하이고, 굳지않은 콘크리트에서는 항상 10~20%의 잉여수가 발생하게 된다. 이러한 잉여수는 콘크리트 내부에서 존재하다가 잉여수 증발과 함께 공극을 생성하여 구조물의 수밀성, 투기성, 강도 및 여러 가지 내구성을 저하시키는 요인이 된다. 또한, 탄산화, 동결융해 저항성, 염해 및 기타 화학적 침식 등은 1차적으로 콘크리트 표층부를 통해 발생하기 때문에 피복콘크리트의 강화는 구조물의 수명으로 직결된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 콘크리트 표면을 다양한 방법으로 강화하고자 하는데, 그 중 일반적인 방법은 표면보호제를 도포하는 방법¹⁾과 고강도의 콘크리트로 시공하는 방법²⁾이 존재하지만 표면보호제의 경우 재료 및

시공비가 고가이며, 내구성에 한계가 존재하고, 고강도 콘크리트의 경우 과도한 재료비의 추가 외에 수화열 등에 의한 2차적인 균열 등이 문제로 대두되고 있다. 이에 대한 대안으로 유공거푸집을 활용하여 피복콘크리트의 물-시멘트비를 저감시킨 후 표면을 강화하는 방법이 대두되고 있는데, 유공거푸집에 대한 연구는 국내에서 정재동³⁾이 유공거푸집을 사용하여 콘크리트 표면부에서의 유출수량, 물-시멘트비 변화에 따른 압축강도, 동탄성계수, 단위용적중량의 변화, 표면성상의 변화 및 촉진 탄산화 시험 등을 통해 검토한 바 있다.

국외에서는 일본에서 거푸집 표면에 구멍을 뚫고, 타설한 콘크리트의 자중을 이용하여 잉여수를 탈수하는 방법인 텍스타일 공법과 거푸집 이면에 흡수율이 500% 이상인 약제를 도포한 섬유포를 붙여 잉여수를 탈수하는 공법인 실크 폼 공법 및 강제거푸집에 가는 슬롯을 만들어 탈수하는 킹 플레이트 공법들이 연구된 바 있다.^{4,7)}

미국의 Schubel⁸⁾은 Controlled Permeable Formwork(이하 CPF)로 필터 부착형 거푸집을 활용하여 표면부 잉여수를 배출하고, 그에 따른 표면 거칠기, 표면 압축강도 및 인장강도, 필터에 의한 수분 흡수 등을 검토한 바 있다.

그러나 기존 연구들에서 사용된 투수시트는 거푸집에 구멍을 뚫은 유공거푸집을 사용해야하기 때문에 시공성

*Corresponding author E-mail : jslee@kict.re.kr
 Received September 12, 2013, Revised October 11, 2013,
 Accepted October 16, 2013
 ©2013 by Korea Concrete Institute

및 작업성이 매우 떨어지고 거푸집의 내구성 또한 떨어져 비경제적이었다. 이 연구에서는 거푸집에 특별한 처리를 하지 않은 일반 유로폼 거푸집에 적용할 수 있는 투수시트를 개발하여 물-결합재비에 따른 강도 특성 및 타설높이에 따른 변화성상을 검토하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

이 연구의 실험계획은 Table 1과 같고 콘크리트 배합표는 Table 2와 같다. 먼저, 실험계획은 W/B 40, 45 및 50% 3가지 배합을 대상으로 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC) 80%에 플라야에쉬(이하 FA) 20%를 치환한 것을 표준배합으로 하고 목표 슬럼프는 100±20 mm, 목표 공기량은 5±0.5%로 설정하였다.

시험체의 크기는 300×300×1200 mm로 제작하였으며, 일반 유로폼 거푸집을 사용한 일반면과 투수시트를 부착한 면으로 구분하여 실험을 진행하였다.

실험은 경화 콘크리트에 대하여 슈미트해머 반발경도, 압축강도, 전자주사현미경(scanning electron microscopy, 이하 SEM) 및 수은압입법(mercury intrusion porosimetry, 이하 MIP)을 재령 28일에 측정하였다.

2.2 사용재료

이 연구에 사용된 재료의 물리·화학적 성질은 Table 3~8과 같고, 투수시트의 단면부 SEM 촬영장면은 Fig. 1

Table 1 Design of experiment

Factor	Levels
W/B (%)	40, 45, 50
Target slump (mm)	100±20
Target air content (%)	5±0.5%
Specimen size (mm)	300×300×1200
FA replacement ratio (%)	20
Type of surface	Normal, permeable liner
Fresh concrete	Slump air content
Hardened concrete	Schmidt hammer compressive strength SEM, MIP

Table 2 Mixture proportions of concrete

W/B (%)	S/a (%)	Materials (kg/m ³)					Slump (mm)	Air content (%)
		W	C	FA	G	S		
40	44.4	163	326	81	939	749	100	5.0
45	42.9	167	297	74	972	730	110	5.2
50	46.7	163	261	65	939	822	115	5.5

Table 3 Physical properties of permeable liner

Pore size		Sheet material	
Horizontal	Vertical	Concrete side	Form side
100 μm	40 μm	Polyethylene film	Polypropylene

Table 4 Physical properties of form

Form size (mm)		Form type	Characteristic of form
Width	Height		
300	1200	Euroform	Unperforated

Table 5 Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min.)		Compressive strength (MPa)		
			Initial time	Final time	3 days	7 days	28 days
3.15	3156	0.50	235	320	20.9	28.4	38.9

Table 6 Physical properties of fly ash

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	SiO ₂ (%)	Ig. loss (%)	Activity factor (%)
2.13	3637	50.7	3.40	97

Table 7 Physical properties of aggregate

Type	Density (g/cm ³)	FM	Water absorption (%)	Passing amount of 0.08 mm sieve (%)
Fine aggregate	2.5	2.8	0.9	0.9
Coarse aggregate	2.6	6.3	0.6	0.4

Table 8 Physical properties of chemical admixture

Type	Appearance	Main ingredients	Color	Density (g/cm ³)
SP	Fluid	Polycarboxylate	Dark brown	1.05
AE	Fluid	Negative ion	Light yellow	1.04

SP : super plasticizer, AE : air entraining agent

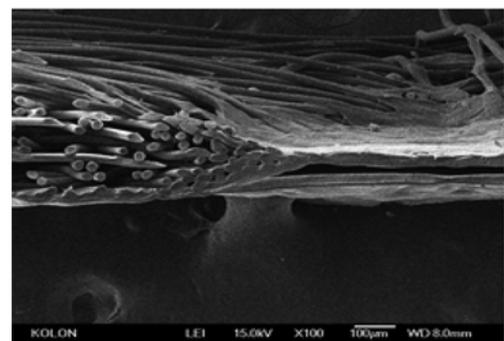


Fig. 1 Section of permeable liner (SEM, ×100)

과 같다.

투수시트는 콘크리트 부착면이 특수 필름으로 되어 있어 거푸집과 탈부착이 용이하고, 거푸집 부착면은 엠보싱으로 구성되어 있어 잉여수의 배수를 원활하게 할 수 있도록 제작되었다. 투수시트의 내부는 섬유가닥으로 얽여 있으며, 수평공극이 약 100 μm , 수직공극이 약 40 μm 인 연속 공극으로 이루어져 배수통로의 역할을 한다. 투수시트의 부착은 유로폼 거푸집의 내부 합판에 부착하여 사용하였다.

결합재로 시멘트(밀도: 3.15 g/cm^3 분말도: 3156 cm^2/g) 및 플라이애쉬(밀도: 2.13 g/cm^3 분말도: 3637 cm^2/g)는 국내산을 사용하였으며, 굵은골재(밀도 2.6, 조립률 6.3) 및 잔골재(밀도 2.6, 조립률 2.8)도 모두 국내산을 사용하였고, 혼화제로 고성능감수제는 폴리카본산계, 공기연행제는 음이온계를 사용하였다.

2.3 실험방법

이 연구의 실험 방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 KS에 준하는 방법으로 실시하였다.

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은

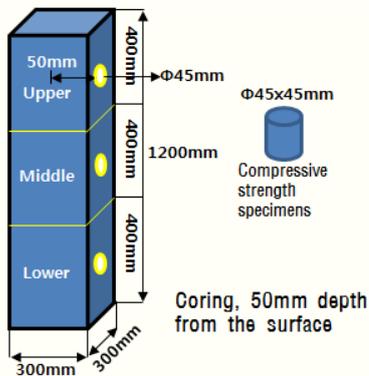


Fig. 2 Core sampling for compressive strength test

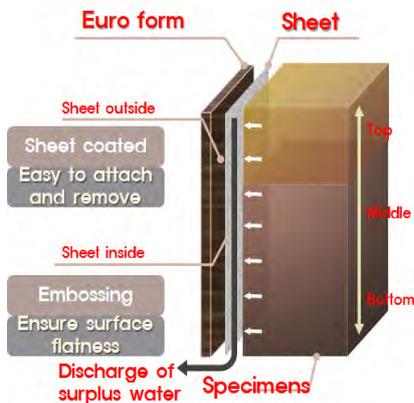


Fig. 3 Schematic diagram for draining mechanism with permeable liner

KS F 2421에 의거 측정하였다.

경화 콘크리트에 대한 슈미트 해머 반발경도 시험은 KS F 2730에 따라 실시하였으며, 압축강도 시험은 KS F 2422에 따라서 Fig. 2와 같이 시험체 표면부로부터 $\phi 45 \times 45 \text{ mm}$ 코어를 채취하고, KS F 2405에 따라 압축강도 시험을 실시하였다. 코어시편의 압축강도 측정 결과는 실측값에 코어시편의 높이와 지름의 비에 따른 보정계수를 KS F 2422의 기준에 따라 0.89를 곱하여 산출하였다.

물-결합재비 종류에 따른 콘크리트의 역학적 특징을 비교하기 위하여, 물-결합재비 40%, 45%, 50%로 제작된 콘크리트 시험체의 하단부에서 각각 시료를 채취하여 비교하였고, 시험체의 높이에 따른 역학적 특징을 비교하기 위하여 물-결합재비 50%의 콘크리트 시험체를 하, 중, 상단부로 구분하여 비교검토 하였다. 투수시트는 일반 유로폼 거푸집에 Fig. 3과 같이 부착되어 잉여수가 아래로 배출되도록 하였다. SEM 및 MIP는 채취된 코어 시편에서 표면부에 가까운 곳에서 시료를 채취하여 분석하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 물-결합재비에 따른 시험체의 특성

3.1.1 슈미트해머 반발경도

Fig. 4 및 5는 물-결합재비별 시험체에 대하여 일반면 및 투수시트면의 슈미트해머에 의한 반발경도 및 증가율을 나타낸 그래프이다. 먼저, 물-결합재비 종류별 모두 일반면에 비해 투수시트면의 반발경도 값이 전반적으로 높은 것으로 나타났으며, 반발경도 값은 $40\% > 45\% >$

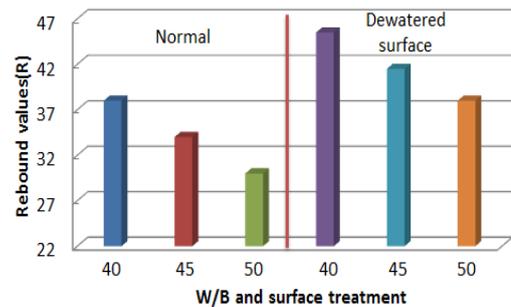


Fig. 4 Rebound values to W/B and surface treatment

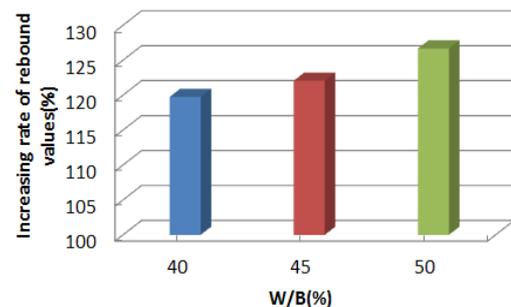


Fig. 5 Increasing rate of rebound values to W/B

50% 순으로 높게 나타났다.

반발경도 증가율은 물-결합재비 40% 시험체가 약 20%의 증가율을 나타내었고, 45%는 약 22%, 50%는 약 27%의 증가율을 나타내었다.

이중 물-결합재비 50% 배합에서 가장 높은 증가율을 나타낸 이유는 50% 배합이 45% 및 40%에 비해 상대적으로 잉여수의 양이 많아 탈수량이 많아졌기 때문으로 판단된다. 따라서, 투수시트를 활용할 경우 물-결합재비 40%와 같은 낮은 물-결합재비에서도 사용이 가능하지만, 물-결합재비가 높아질수록 적용성은 더욱 우수할 것으로 판단된다.

3.1.2 압축강도

Fig. 6 및 7은 물-결합재비별 일반면 시험체와 투수시트면 시험체의 압축강도 및 증가율을 나타낸 그래프이다. 먼저, W/B 40%, 45% 및 50%의 일반면의 압축강도 값은 43, 35 및 33 MPa의 값을 나타내었으나 W/B 40, 45 및 50%의 투수시트면 압축강도 값은 각각 51, 42 및 41 MPa의 값을 나타내어 배합수가 많지 않은 상대적으로 높은 강도의 배합에서도 투수시트에 의한 압축강도 증진이 잘 나타나는 것을 확인하였다.

압축강도 증가율로 비교하여 본 결과, 고강도 배합인 물-결합재비 40%의 강도 증가율은 약 18%의 강도 증가를 나타내었으며, 일반강도인 물-결합재비 50%의 경우 약 24%의 강도 증가율을 나타내었다. 따라서, 압축강도 시험에 있어서도 물-결합재비 종류가 낮은 경우에도 투수시트에 의한 시험체의 성능이 효과적으로 나타남을 알 수 있었으며, 물-결합재비가 높은 배합에서 압축강도 증가율은 더 큰 것으로 나타났다. 또한, 이 연구에 사용된

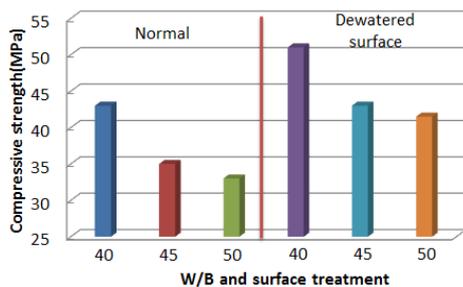


Fig. 6 Compressive strength to W/B and surface treatment

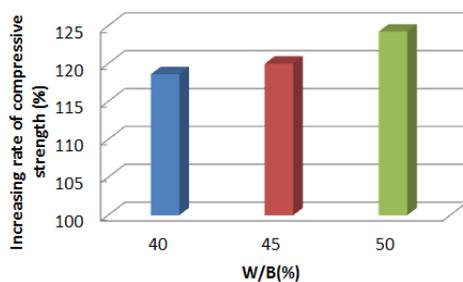


Fig. 7 Increasing rate of compressive strength to W/B and surface treatment

시트와 유사한 투수시트를 사용한 이중석⁹⁾의 실험에서 보면 물-결합재비 60%로 제작된 1.2 m 높이의 콘크리트 하단부의 강도증진이 34~52%로 나타나 높은 물-결합재비에서 더욱 효과적이라는 것을 뒷받침하였다.

이러한 경향은 Basheer¹⁰⁾의 실험에서도 나타났으며, 물-시멘트비 45%와 50%에서 투수시트를 사용한 경우 인장강도가 각각 30 및 33% 증가하였고, 염분 침투깊이도 각각 27 및 43% 감소하여 물-시멘트비가 높은 배합에서 더욱 효과적임을 보고하였다.

한편, 이를 정재동³⁾의 유공거푸집을 사용한 시험체의 압축강도 증가율 약 15~25%와 이 연구의 무공거푸집을 사용한 시험체의 증가율 18~24%를 비교했을 때 유사한 성능을 나타낸 것으로 판단된다. 이것으로 볼 때 거푸집에 구멍을 내지 않고 무공거푸집에 투수시트만을 사용하는 것이 동일한 성능을 얻으면서도 거푸집의 전용횡수 증가 및 거푸집 천공비용을 줄여 경제적인 측면에서 우수할 것으로 판단된다.

3.1.3 SEM 분석

Fig. 8은 물-결합재비 종류별 시험체의 SEM 분석 결과(×500배 확대)를 나타낸 모습이다. 먼저, 일반면 및 투수시트면의 수화생성물 형태는 물-결합재비 종류별에 상관없이 전반적으로 유사한 것으로 나타났으며, 물-결합재비가 작을수록 조직을 치밀하게 만들어 공극이 확연히 줄어들어 가는 것으로 나타났다. 또한, 각 물-결합재비별로 모두 일반면에 비해 투수시트를 사용함에 따라서 공극이 감소되어 조직의 밀실함에서 차이를 나타내었다.

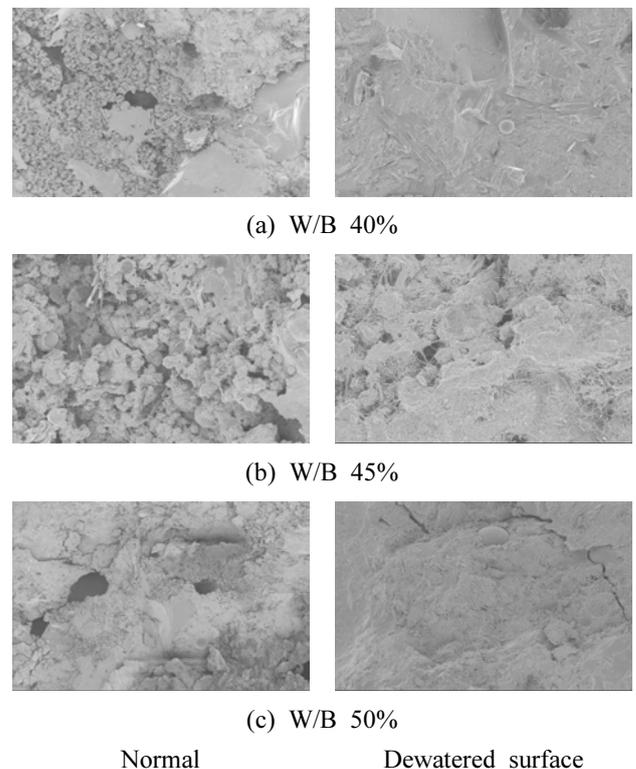


Fig. 8 SEM images of W/B and surface treatment

3.1.4 MIP 분석 결과

1) 세공공극분포

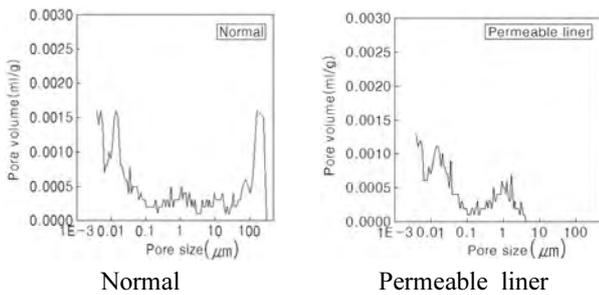
Fig. 9는 물-결합재비별 시험체의 세공공극분포를 나타낸 그래프이다. 실험대상 물-결합재비 모두에서 일반면과 투수시트면의 공극량은 전반적으로 일반면에 비해 투수시트면이 적은 것으로 나타났으며, 투수시트를 사용할 경우 강도와 밀접한 관련이 있는 $0.1\ \mu\text{m}$ 이하 모세관 공극과 젤공극¹¹⁾들이 크게 감소하여 투수시트가 미세공극 감소에도 많은 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

Tatematsu¹²⁾의 실험에서도 투수시트를 사용함으로써 $50\ \text{nm} \sim 2\ \mu\text{m}$ 범위의 세공량이 현저히 감소하였다고 보고하고 있어 투수시트를 사용하여 추가로 확보된 표면부 강도는 미세공극 감소에 의한 것임을 확인할 수 있었다.

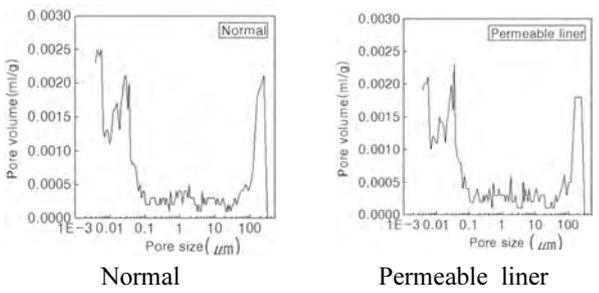
2) 누적세공분포

Fig. 10은 물-결합재비별 시험체의 세공공극분포를 합한 누적세공량을 나타낸 그래프이다.

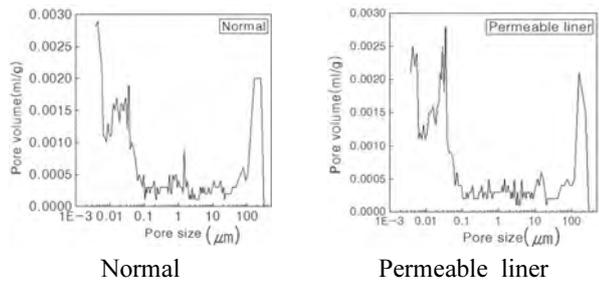
물-결합재비 40%의 누적세공량은 투수시트를 사용할 경우 $0.01\ \mu\text{m}$ 이하 공극량이 약 36% 정도 감소되는 것으로 나타났으며, 45%는 약 40%, 50%의 경우 약 50% 정도 감소되는 것으로 나타나 모든 경우에서 공극량 감소에 효과적임을 나타내었다.



(a) W/B 40%



(b) W/B 45%



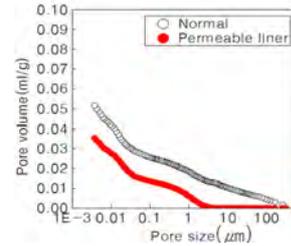
(c) W/B 50%

Fig. 9 Pore distribution to W/B and surface treatment

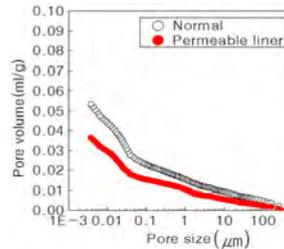
3.2 시험체 높이에 따른 특성

3.2.1 슈미트해머 반발경도

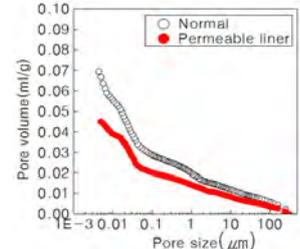
Fig. 11 및 12는 물-결합재비 50%로 제작된 시험체의 높이별로 일반면 및 투수시트면의 슈미트해머 반발경도 및 증가율을 나타낸 그래프이다. 그림에 나타내었듯이, 일반면의 상부, 중부 및 하부의 반발경도 값은 약 28~30으로 상부, 중부 및 하부의 차이가 적게 나타난 반면 투수시트를 사용한 면의 상부, 중부 및 하부의 반발경도 값은 약 31~38로 상대적으로 큰 차이를 나타냈다.



(a) W/B 40%



(b) W/B 45%



(c) W/B 50%

Fig. 10 Cumulative pore volume to W/B and surface treatment

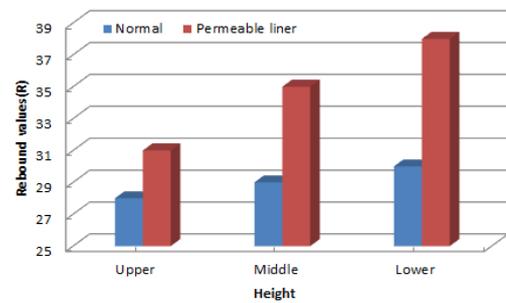


Fig. 11 Rebound values to height and surface treatment

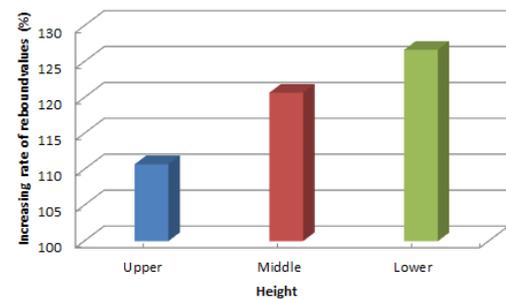


Fig. 12 Increasing rate of rebound values to height and surface treatment

슈미트해머 반발경도 증가율은 시험체 상부의 경우 반발경도 값이 약 10%의 증가율을 나타낸 반면, 중부 약 20%, 하부 약 26%의 증가율을 나타내어 투수시트에 의한 반발경도의 증가가 시험체의 상부보다는 중부 및 하부에서 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

3.2.2 압축강도

Fig. 13은 물-결합재비 50%로 제작된 시험체의 높이별 일반면 및 투수시트면의 압축강도를 나타낸 그래프이다. 그림에서 보면, 일반면에 비해 투수시트면의 압축강도 값이 전반적으로 높은 값을 나타내었으며, 시험체의 측정 위치가 상부 < 중부 < 하부 순으로 압축강도가 높은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 상부에 비해 중부 및 하부 순으로 내려갈수록 시험체의 측압이 크게 작용하면서 피복콘크리트의 탈수량이 많아짐에 따라 나타난 결과로 판단된다.

Matsuda¹³⁾에 의하면, 900 mm 높이의 시험체에 투수시트를 사용한 결과, 일반면에 비해서 상부는 약 13%, 중부 약 32%, 하부 39%의 강도 증가를 보여 하부로 갈수록 강도가 증가하는 동일한 경향을 보고한 바 있다.

이에 대한 분석을 건축공사 표준시방서¹⁴⁾의 식 (1) 1.5 m 이하 기둥부재의 측압 계산식을 참고 하여 시험체의 높이별 측압에 따른 압축강도 값을 분석하여 Fig. 14에 나타내었다. 그림에는 물-결합재비 40, 45 및 50%에 대한 높이 구간별 강도값을 측압에 대하여 나타내었으며 이들의 평균값에 대하여 회귀분석을 실시한 결과를 굵은 실

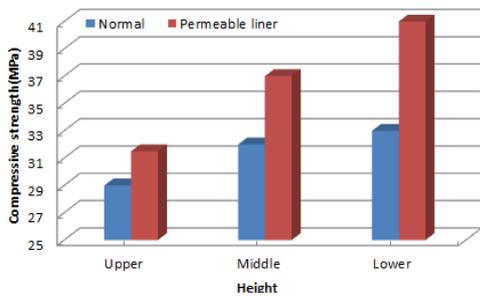


Fig. 13 Compressive strength to height and surface treatment

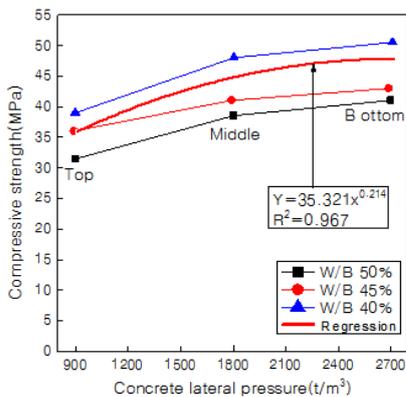


Fig. 14 Relationship lateral pressure and compressive strength

선으로 나타내었다.

그림에서 물-결합재비별로 높이구간별 강도 증가폭은 물-결합재비 45%의 중부와 하부에서 약간 낮은 값을 나타내었지만 모든 배합에서 높이구간에 따라 강도증가 경향은 비슷하게 나타났으며, 이는 측압증가에 따른 강도증가도 뚜렷한 경향으로 나타났다고 할 수 있다.

이들 세가지 배합에 대한 데이터를 평균을 내어 회귀 분석을 실시한 결과, 측압과 높이별 강도는 $y = 35.321x^{0.214}$ (여기서 y 는 압축강도, x 는 측압, $R^2=0.967$)의 관계를 가지는 것으로 나타났다.

그러나, Fig. 15의 Arslan¹⁵⁾의 연구에 따르면 콘크리트 타설 높이가 2 m 이상이 되면 더 이상 측압이 증가되지 않는 것으로 나타나는데, 이 연구에 사용된 1.2 m 시험체의 경우 범위 안에 있어 측압에 의한 탈수량 증가가 압축강도 증가로 나타난 것으로 사료되며, 2 m 이상이 될 경우 추가적인 압축강도의 증가는 어려울 것으로 판단된다.

Fig. 16은 물-결합재비 50%로 제작된 시험체의 높이별 일반면 및 투수시트면의 압축강도 증가율을 나타낸 그래프이다.

시험체 상부의 압축강도 증가율은 약 8%를 나타내었으나, 중부는 약 16%, 하부는 약 25%의 증가율을 나타내어 위에서 분석된 회귀분석 결과와 일치하여 투수시트에 의한 압축강도 증가가 시험체 상부보다는 중부 및 하부에서 크게 나타남을 알 수 있었다.

Concrete lateral pressure calculation¹⁴⁾

$$H \leq 1.5 = W_0 \times H \quad (1)$$

H : Concrete head height of fresh concrete (m),
 W_0 : Unit volume weight of fresh concrete (t/m^3)

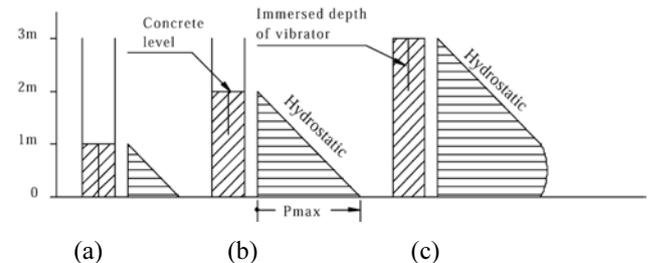


Fig. 15 Development of lateral pressure envelope¹¹⁾

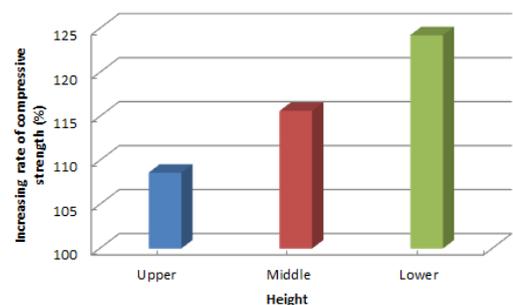


Fig. 16 Increasing rate of compressive strength to height and surface treatment

3.2.3 SEM 분석 결과(×500배 확대)

Fig. 17은 물-결합재비 50% 시험체의 높이별 투수시트면의 SEM 촬영을 한 모습이다. 시험체의 높이별 투수시트면 SEM 촬영 결과, 상부보다는 중부 및 하부로 내려갈수록 수화물 조직이 밀실해져 시험체의 높이에 따른 공극 감소가 눈에 띄게 나타났다.

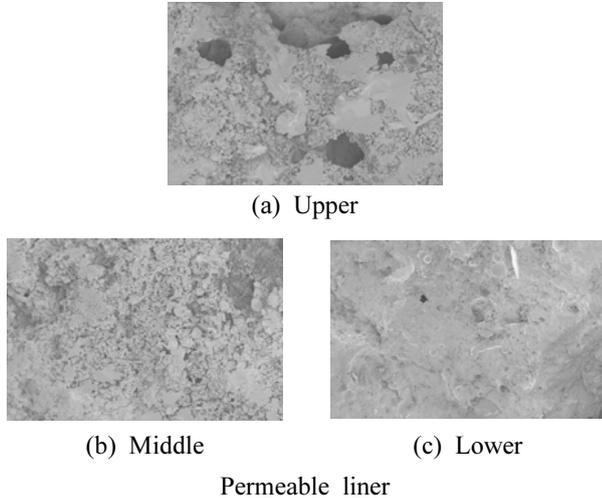


Fig. 17 SEM images to height and surface treatment

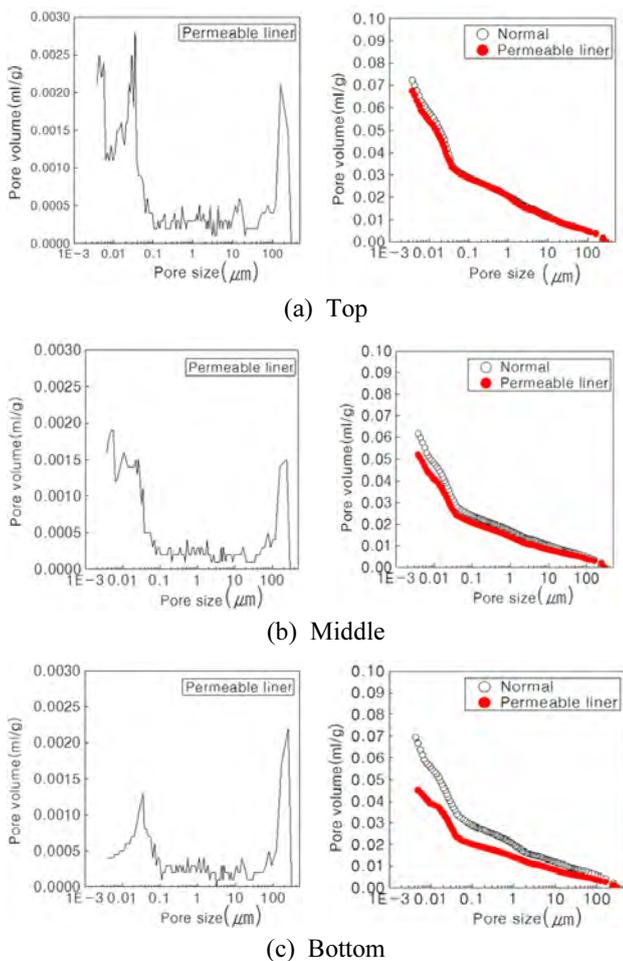


Fig. 18 Pore distribution volume (left) and cumulative pore volume (right) to specimens height

3.2.4 MIP 분석 결과

1) 세공공극분포 및 누적세공분포

Fig. 18은 물-결합재비 50% 시험체의 높이별 투수시트면의 세공공극분포 및 누적세공분포를 나타낸 그래프이다.

그림에서 보면, 투수시트면의 공극량은 SEM 분석과 유사한 결과로 시험체의 높이에 따라 상부보다는 중부 및 하부로 내려갈수록 공극이 크게 감소되는 경향을 나타내었다. 특히, 시험체의 하부에서 $0.1 \mu\text{m}$ 이하 모세관 공극과 젤공극들이 급격히 감소되어 투수시트에 의한 공극 감소 효과가 우수한 것으로 나타났다.

누적세공분포의 경우 물-결합재비 50% 시험체의 높이별 투수시트면의 누적세공량을 나타낸 것이다. 누적세공분포는 세공 공극분포와 유사하게 시험체의 상부에 비해 중부 및 하부로 내려갈수록 감소되는 경향을 나타내었다. 한편 $0.1 \mu\text{m}$ 이하 공극인 모세관 및 젤 공극은 하부에서 최대 50%까지 감소되어 투수시트를 사용할 경우 조직이 치밀해지는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

거푸집에 구멍을 뚫지 않은 일반 유로폼에 투수시트를 적용한 콘크리트의 물-결합재비 및 시험체의 높이 종류에 따른 강도특성을 분석한 결과를 종합하면 다음과 같다.

- 1) 슈미트해머 반발경도의 경우 투수시트면이 일반면에 비해 물-결합재비 종류에 따라서 20~27%의 증가율을 나타내었으며, 시험체의 높이에 따라서는 투수시트면이 약 10~26%의 증가율을 나타내었다.
- 2) 압축강도의 경우 투수시트면이 물-결합재비 종류에 따라서 18~24%의 강도 증가율을 나타내었으며, 40%의 낮은 물-결합재비에서도 18%의 강도증가를 나타내 적용성이 우수한 것으로 판단된다.
- 3) 슈미트해머 반발경도 및 압축강도 시험에서 모두 시험체의 상부보다는 중부 및 하부에서 크게 나타나 높이에 따른 강도증가율이 측압에 영향을 받는 것을 알 수 있었다.
- 4) SEM 분석 결과의 경우 투수시트를 사용하였을 경우 일반면에 비해 공극이 뚜렷이 감소되는 것을 알 수 있었으며, 시험체 상부보다는 중부 및 하부로 내려갈수록 공극이 감소되는 것을 확인할 수 있었다.
- 5) MIP 분석 결과의 경우 투수시트를 사용하였을 경우 물-결합재비 종류에 따라서 $0.01 \mu\text{m}$ 이하 공극량이 약 40~50% 정도 감소되는 것으로 나타났으며, 시험체의 상부에 비해 중부 및 하부로 내려갈수록 공극량이 감소되는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해 보면, 거푸집에 구멍을 뚫지 않은 일반 거푸집에 투수시트를 부착해서 콘크리트 표면부 잉여수를 제거할 경우 거푸집에 구멍을 뚫은 유공거푸집으로 잉여수를 제거한 결과와 차이가 없었으며, 거푸집

천공비용 및 전용성 측면에서 경제성이 우수하여 무공거푸집을 이용해서 투수시트를 부착한 경우가 효과적일 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 2011년 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구과제(20110364-1-2)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. JSCE, Recommendation for Concrete Repair and Surface Protection of Concrete Structures, 2005.
2. Han, C. G., Kim, S. W., Koh, K. T., and Han, M. C., "Property of Low Shrinkage High Performance Concrete depending on Mixture Proportions and Material Characteristics," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 116, No. 6, 2004, pp. 805-811.
3. Jaung, J. D., "An Experimental Study on the Strength Increase of Concrete Surface by the Holed Molds (2)," *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 19, No. 7, 2003, pp. 71-78.
4. Jaung, J. D., *An Experimental Study on the Effect of Carbonation to the Concrete Properties*, Tohoku University, 1989.
5. Fukuchi, T. and Tateyama, S., "A Study on Prediction of Concrete Quality from Earlier Strengths," *Architectural Institute of Japan*, Vol. 57, 1982, pp. 175-176.
6. Mamoru, K., "A Measuring Method for Water Cement Ratio in Fresh Concrete," *Japan Society of Civil Engineers*, No. 193, 1971, pp. 115-123.
7. Architectural Institute of Japan, *Guides on Plan and Quality Control of Concrete*, 1979.
8. Schubel, P. J., Warrior, N. A., Elliott, K. S., and Jones, M., "An Investigation into the Critical Factors Affecting the Performance of Composite Controlled Permeable Formwork Liners: Part I-Drainage medium Original Research Article," *Construction and Building Materials*, Vol. 22, Issue 7, 2008, pp. 1551-1559. (doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.03.030>)
9. Lee, J. S., "Properties of Permeable Formwork Using Permeable Liner," *Journal of the Korea Society of Civil Engineers*, Vol. 32, No. 6A, 2012, pp. 419-426.
10. Basheer, L., Nanukuttan, S. V., and Basheer, P. A. M., "The Influence of Reusing 'Formtex' Controlled Permeability Formwork on Strength and Durability of Concrete," *Materials and Structures*, Vol. 41, 2008, pp. 1363-1375.
11. Mehta, P. K., *Concrete, Structure Properties and Materials*, Prentice Hall, 1973.
12. Tatematsu, K. and Ishihara, S., "Changes in Pore Structure and Enhanced Durability of Concrete by the Use of Permeable Forms," *Japan Concrete Institute*, Vol. 8, No. 1, 1997, pp. 171-178.
13. Matsuda, T., Maeda, T., Mishima, N., and Hatanaka S., "Effect of Revibration on Strength Properties of Concrete Cast into Water Permeability Form," *Japan Concrete Institute*, Vol. 24, No. 1, 2002, pp. 345-350.
14. Architectural Institute of Korea, *Architectural Standard Specification*, 2013.
15. Arslan, M., "Effects of Drainer Formworks on Concrete Lateral Pressure," *Construction and Building Materials*, Vol. 16, Issue 5, 2002, pp. 253-259. (doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00025-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00025-9))

요약 이 연구에서는 콘크리트 타설 시 발생하는 잉여수를 제거하여 피복 콘크리트의 성능을 향상 시키고자 거푸집에 구멍을 뚫지 않은 일반 유로폼에 투수시트를 부착하여 타설한 콘크리트의 물-결합재비 종류 및 시험체 높이에 따른 강도 특성을 분석하였다. 슈미트해머 반발경도 및 압축강도의 경우 투수시트면이 물-결합재비가 높은 배합일수록 크게 나타났으며, 시험체의 높이에 따라서는 상부보다는 중부 및 하부에서 크게 나타남을 알 수 있었다. SEM 분석 결과의 경우 수화물의 생성형태는 유사하였으나 투수시트면이 일반면에 비해 공극이 확연히 감소되고 밀실해 지는 것으로 나타났으며, MIP 분석 결과 투수시트를 사용하였을 경우 0.01 μm 이하 공극량이 최대 50%까지 감소되어 공극이 치밀해지는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 투수시트, 측압, 탈수량, 물-결합재비, 타설높이