선행하중을 고려한 보강 콘크리트의 투수성능에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Permeability of Reinforcement Concrete on Consideration of Pre-loading

한 병 용* 배 주 성**

Han, Byoung-Young Bae, Ju-Seong

Abstract

The permeability of concrete affects largely on the durability of concrete, therefore it is required that the correct assessment and improvement of permeability. Therefore it is rational method that the permeability of concrete structures is estimated in the common use states under loading than in the early sound conditions. In this study, to improve the permeable efficiency of concrete, some kinds of fiber and resin are mixed in making of concrete specimens. And also, for the reasonable assessment of permeability, after 50% and 70% pre-loadings of its compressive strength were acted on the specimens, the tests were executed. From the results of this study, in the case of 50% pre-loading coefficients of permeability were increased about 1.4times against the nonpre-loading specimens and in the case of 70% pre-loading they were increased about 17.8times. And it turned out that hybrid steel fiber reinforcement is most effective for the improvement of permeable efficiency of concrete.

요 지

콘크리트의 투수성은 콘크리트의 내구성에 크게 영향을 미치므로, 투수성의 합리적인 측정과 그 개선이 요구된다. 따라서 콘크리트의 투수성은 콘크리트 구조물이 건전한 상태를 유지하고 있는 초기 상태에서 평가하는 것 보다 실제 하중을 받고 있는 공용중인 상태에서 평가하는 것이 보다 합리적이라 할 수 있다. 본 연구에서는 콘크리트의 투수성능을 개선하기 위하여 섬유의 종류 및 혼입율, 수지 종류를 달리하여 콘크리트 시험체를 제작하였으며, 투수성의 합리적인 평가를 위해서 하중을 받아 균열발생 등 성능이 저하된 콘크리트 구조물의 실제 상태를 모사하기 위하여 시험체에 선행하중을 시험체 압축강도의 50%, 70% 작용시킨 후에 투수시험을 수행하여 그 결과를 비교분석 하였다. 시험결과 투수계수는 선행하중을 가하지 않은 경우보다 선행하중 50%일 때 대략 1.4배, 70%일 때 17.8배 증가되었고, 하이브리드 강섬유보강이 콘크리트의 투수성능 개선에 가장 효과적임을 알 수 있었다.

Keywords : Coefficient of permeability, Permeability pre-loading, Hybrid fiber reinforcement

핵심 용어 : 투수계수, 투수성능, 선행하중, 하이브리드 섬유보강

* 전북대학교 토목공학과 대학원 박사과정

** 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수, 공학박사

E-mail : heraclese@hanmail.net 016-655-1020

?본 논문에 대한 토의를 2005년 9월 30일까지 학회로 보내주시면 2006년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근 고속도로, 교량, 고속철도, 고층건물, 댐 및 항만시설 등 국가 산업발전을 위한 사회기반 시설물이 활발히 건설되고 있으나, 이러한 신설 및 기존 콘크리트 구조물들이 열악한 환경으로 그 성능이 저하되어 잦은 보수보강이 요구되고 있다. 따라서 콘크리트 구조물에 대한 철저한 유지관리와 내구성에 관한 연구가 절실히 요구된다. 콘크리트 구조물의 내구성에 영향을 미치는 중요한 인자 중 하나가 콘크리트의 투수성이라 할 수 있는데, 투수성이 클 경우 외부로부터 물, 공기 및 염소이온 등의 반복적인 침투로 철근부식 및 콘크리트의 내부식성, 내화학 저항성 등 성능저하에 큰 영향을 미친다. 이 때문에 콘크리트의 투수성능에 대한 보다 정확한 평가와 그 개선이 요구되며, 이러한 연구결과를 실제 콘크리트 구조물에 적용한다면 콘크리트 구조물의 공용수명을 연장시킬 수 있고, 또한 보수보강 횟수를 줄일 수 있을 것이다.

본 연구에서는 콘크리트의 성능저하에 중요한 영향을 주는 투수성능을 합리적으로 평가하고 개선하기 위하여 섬유 종류와 혼입율, 수지 종류를 변수로 하여 투수성 실험을 수행하였다. 섬유는 기존의 연구결과에서 투수계수의 저하에 효과적인 강섬유와 폴리프로필렌섬유(이하 PP섬유)를 사용하였으며, 수지로는 강도면에서 우수하고, 투수성능에 뛰어난 효과가 있는 것으로 알려진 불포화 폴리에스터 수지 및 SBR Latex를 사용하였다.[1]

또한, 실제하중을 받아 균열발생 등 성능이 저하된 콘크리트 구조물의 상태를 모사하기 위하여 제작한 시험체 압축강도의 50%, 70%의 선행하중을 작용시킨 후 투수시험을 수행하여 그 결과를 비교 고찰하였다.

2. 시험체 제작 및 시험

2.1 사용재료

2.1.1 섬유

본 연구에서는 기존의 연구에서 투수계수 저하에 효과적으로 알려진 강섬유와 PP섬유를 각각 1.0% 및 0.1%씩 혼입하였으며, 사용한 섬유의 물성은 Table 1과 같다.

Table 1 Properties of fibers

fibers	steel fiber		polypropylene fiber
length(㎜)	30	60	19
diameter(㎜)	0.5	1.0	0.1
aspect ratio (l/d)	60	60	190
gravity	7.85	7.85	0.9
type	hooked	hooked	net
tensile strength (MPa)	1,100	1,100	612
elastic modulus (MPa)	200,000	200,000	3,500

2.1.2 수지

본 연구에서는 불포화 폴리에스터수지(unsaturated polyester resin : 이하 UPE수지)와 SBR Latex를 사용하였다. UPE 수지는 국내 C사에서 생산된 제품으로 사용가능시간 및 경화시간을 제어할 수 있으며, 강도발현이 빠르고, 접착성, 수밀성, 내약품성 등이 우수하나, 경화수축이 크고 난연성이 약한 성질을 가지고 있다.[1][2] 본 연구에서 수지를 사용한 것은 무재하 상태에서 수밀성이 아주 우수하나 선행하중을 받아 손상을 입은 경우, 무보강 콘크리트와의 투수계수의 차이를 비교 고찰하기 위해서 선택하였으며, 수지의 성능을 향상시키기 위해서 개시제로 메칠 에칠 케톤 퍼옥사이드(Methyl Ethyl Ketone Peroxide : MEKPO)를 수지의 중량대비 1% 첨가하고, 단위체적당 수지의 사용량을 줄이고 레진 콘크리트의 역학적 특성을 개선하기 위하여 사용되는 중질탄산칼슘이라 불리는 충전재(filler)를 첨가 하였으며, 수지의 경화 시간을 단축시키기 위하여 경화촉진제를 수지의 중량대비 0.1% 첨가하였다. UPE 수지의 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Properties of unsaturated polyester resin

classification	specific
specific gravity	1.12±0.02
color	clarity
viscosity(PS)	3ps±30%
gel time(min.)	9min.±30%

Table 3 Typical properties of SBR Latex

classification	specific
total solid contents(%)	48±1
pH(25℃)	9
surface tension(DYNE/CM)	35
viscosity(CPS)	70
color	milky

Fig. 1 View of UPE Resin

Fig. 2 View of SBR Latex

SBR Latex는 국내 K사에서 생산된 제품으로 우유빛을 띤 액상이며, 탄성이 우수하고, 동적 성질과 압출성형이 좋으며, 발열 및 내화성이 적고, 내마모성 및 내구성이 우수하나 점도가 높아 워커빌리티가 떨어지는 경향이 있다. SBR Latex의 성질은 Table 3과 같고, UPE 수지 및 SBR Latex는 각각 Fig. 1 및 Fig. 2에 나타내었다.

2.2 시험체 제작

본 연구에서 사용한 시험체는 7가지 종류를 시험체 1~시험체7로 구분하였고, 각 시험체에 대한 설명은 Table 4와 같다.

2.3 시험방법

2.3.1 압축강도시험

압축강도는 각 시험체에 대해서 3개씩 Φ150×300㎜ 원주형 몰드를 제작하여 20±2℃ 수중에서 28일 동안 양생한 후 KS F 2405 압축강도시험방법에 따라서 측정하여 각 시험체의 평균값을 구하였으며, 압축강도시험 광경은 Fig. 3과 같다.

2.3.2 투수시험

투수시험은 Fig. 4와 같은 콘크리트 투수시험기를

Table 4 Description of specimens

specimens	description	
1	무보강 콘크리트	
2	강섬유	길이 30㎜, 혼입율 1.0%
3	PP섬유	길이 19㎜, 혼입율 0.1%
4	강섬유	길이 30㎜, 혼입율 0.5%
		길이 60㎜, 혼입율 0.5%
5	강섬유	길이 30㎜, 혼입율 0.9%
	PP섬유	길이 19㎜, 혼입율 0.1%
6	UPE	
7	SBR Latex	

Fig. 3 View of compressive test

Fig. 4 View of permeability test

사용하였으며, 공시체면에 가압수를 작용시켜 공시체 내부에 침수되는 상태를 관찰 및 측정하여 투과에 소요되는 압력, 투과시간, 가압시간과 투수량의 관계, 투과속도 등을 측정한다. 투수시험 공시체는 Φ150×300㎜의 원주형 몰드 중앙에 지름 20㎜의 구멍이 있는 몰드를 사용하였고, 타설 후 48시간 지나서 탈형하여 20±2℃ 수중에서 28일 동안 양생하였으며, 각 시험체에 압축강도의 50, 70% 선행하중을 가하였다. 본 시험

체에서 투수량 측정은 24시간씩 5일 동안 측정하여 투수계수를 다음 식 (1)로 부터 구하였다.

$$K = \frac{\rho \log \frac{r_o}{r_i}}{2\pi h} \cdot \frac{Q}{P_i - P_o} \quad (1)$$

여기서, (Po=0)

K(㎜/sec) : 투수계수, Po(MPa) : 외측수압,
Pi(MPa) : 내측수압, Q(㎖/sec) : 투수량,
ro(㎜) : 공시체의 반경, ri(㎜) : 중심구멍의 반경,
h(㎜) : 공시체의 높이, ρ(MPa) : 물의 단위중량

3. 시험결과 및 고찰

3.1 압축강도

콘크리트의 설계기준 강도는 30.0MPa로 하였으며, 실제 측정한 각 공시체의 평균압축강도와 50%, 70% 수준의 압축강도는 Table 5와 같다.

Table 5 Compressive strength(MPa)

specimens	compressive strength	compressive strength of stress level 50%	compressive strength of stress level 70%
1	32.71	16.36	22.90
2	33.09	16.55	23.17
3	33.23	16.65	23.26
4	34.35	17.17	24.04
5	30.65	15.33	21.46
6	35.69	17.84	24.98
7	31.48	15.74	22.04

3.2 투수계수

3.2.1 선행하중을 가하지 않은 경우

선행하중을 가하지 않은 각 시험체의 시간경과에 따른 투수계수는 Table 6과 같고, Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5로부터 예측한 바와 같이 선행하중을 가하지 않은 상태에서 레진 콘크리트의 투수계수는 모두 0으로 나타났으며, 무보강 콘크리트의 경우는 시간이 경과됨

Table 6 Coefficient of permeability of 0% pre-loading ($\times 10^{-12}$)

specimens \ days	1	2	3	4	5
1	2.30	2.88	3.84	3.84	3.84
2	0.00	0.00	0.18	0.34	0.42
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
4	0.00	0.00	0.00	0.13	0.14
5	0.00	0.00	0.00	1.07	1.21
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

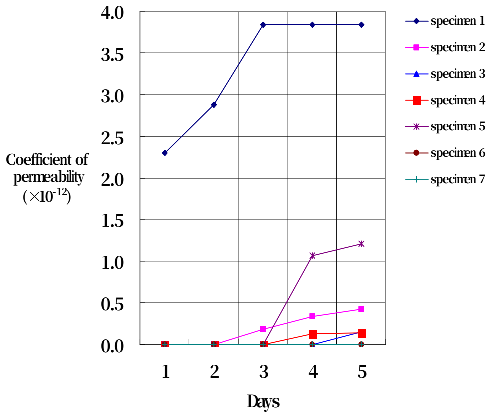

Fig. 5 Coefficient of permeability of 0% pre-loading

에 따라 투수계수가 급격히 증가하는 경향을 보였다. 따라서 선행하중을 가하지 않은 상태에서는 섬유 및 수지의 혼입이 투수계수 저하에 효과적임을 알 수 있었고, 섬유보다 수지의 혼입이 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 이러한 현상은 수지가 섬유보다 더욱 콘크리트 내부 공극을 메워 콘크리트가 보다 더 밀실하게 되었기 때문으로 판단된다.

3.2.2 선행하중 50% 경우

압축강도의 50% 선행하중을 가한 각 공시체의 시간경과에 따른 투수계수는 Table 7과 같고, Fig. 6에 나타내었다. 이 경우 모든 공시체의 투수계수는 선행하중을 가하지 않은 경우보다 높게 나타났는데, 이는 하중재하로 인하여 콘크리트에 미세 균열의 발생 등 어느 정도 조직이완으로 성능이 저하되었기 때문이라고 판단된다.

강섬유 혼입의 경우는 단일섬유 보강시나 하이브리드 보강시 투수계수 저하에 효과적임을 알 수 있었다. 또한, 강섬유 하이브리드 보강한 경우와 강섬유와 PP섬유를 하이브리드 보강한 경우 투수계수가 단일섬유 보강시 보다 낮게 나타났는데, 이는 하이브리드 섬유보강이 투수성능 개선에 더욱 효과적임을 알 수 있었다.

수지 혼입한 경우 선행하중을 가하지 않은 경우에는 거의 투수가 없었으나, 선행하중 상태에서는 강섬유 및 강섬유와 PP섬유 하이브리드 보강시 보다 투수계수가 크게 나타났다. 이러한 현상은 수지가 섬유보강재보다 균열의 진행에 대한 저항성이 작기 때문에 투수계수가 증가된 것으로 생각된다.

3.2.3 선행하중 70% 경우

선행하중을 압축강도의 70% 가한 각 시험체의 시간 경과에 따른 투수계수는 Table 8과 같고, Fig. 7에 나타내었다. 이 경우 투수계수는 무재하 및 50% 재하시의 투수계수보다 훨씬 증가하였다. 이는 보다 더 균열이 진전되고 조직이 더 이완되어 성능이 많이 저하되었기 때문이라고 생각된다.

또한 섬유보강의 경우 단일 강섬유보강 보다 장단 강섬유를 혼입한 하이브리드 보강시와 강섬유와 PP섬유를 하이브리드 보강한 경우 투수계수 저하에 더욱 효과적으로 나타났다. 이러한 현상은 섬유의 서로 다른 길이 및 특성이 응력 증가에 따른 각 단계 별 균열 진전을 효과적으로 제어했기 때문이라고 판단된다.

Table 7 Coefficient of permeability of 50% pre-loading ($\times 10^{-12}$)

specimens \ days	1	2	3	4	5
1	5.54	6.57	6.96	7.47	7.86
2	0	1.13	1.31	1.46	1.51
3	4.25	5.81	6.32	6.83	7.33
4	0	0.58	0.62	0.66	0.75
5	0	0.81	0.69	0.67	0.78
6	1.73	2.34	2.53	2.76	2.92
7	2.73	3.54	3.73	4.16	4.52

Table 8 Coefficient of permeability of 70% pre-loading ($\times 10^{-12}$)

specimens \ days	1	2	3	4	5
1	41.10	43.70	44.20	45.50	46.60
2	4.68	4.58	4.41	4.33	4.38
3	36.00	36.00	40.70	42.70	44.50
4	2.87	2.84	3.46	3.56	4.34
5	3.37	3.05	3.56	3.74	4.36
6	22.10	22.80	23.60	22.60	23.80
7	25.10	25.60	25.80	25.40	25.60

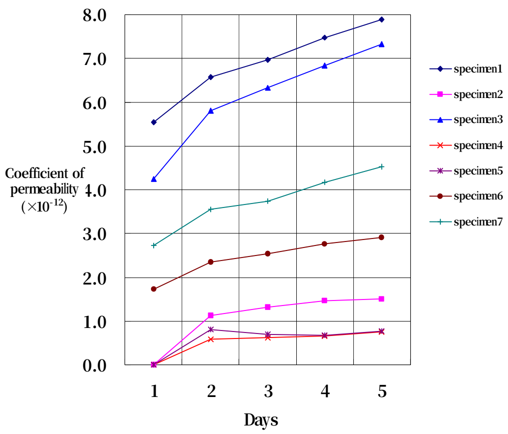

Fig. 6 Coefficient of permeability of 50% pre-loading

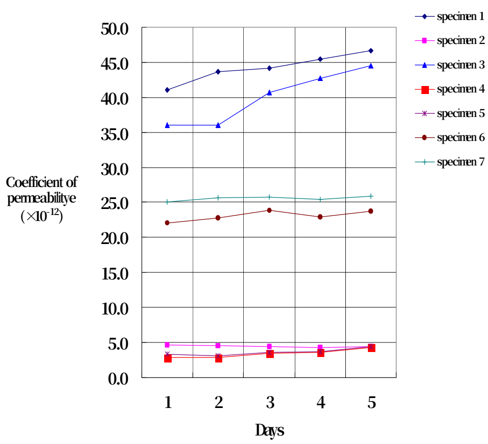

Fig. 7 Coefficient of permeability of 70% pre-loading

4. 결 론

본 연구에서는 콘크리트의 투수성능을 보다 합리적으로 평가하고 개선시키기 위하여 섬유 및 수지를 혼입한 시험체에 선행하중을 가한 후 투수시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 선행하중을 가하지 않은 경우 섬유 및 수지혼입 콘크리트의 투수계수는 무보강 콘크리트보다 낮게 나타나 보강재의 혼입이 투수계수의 저하에 효과적임을 알 수 있었다.
2) 선행하중 50%재하시 투수계수는 선행하중을 가하지 않은 경우와 마찬가지로 무보강 콘크리트에서 가장 높았으며, PP섬유보강의 경우 강섬유 및 하이브리드 강섬유 보강의 경우보다 투수계수가 높게 나타나 강섬유가 PP섬유 보다 투수성능 개선에 효과적임을 알 수 있었다.
3) 선행하중 70%재하시 강섬유 및 하이브리드 강섬유 보강 콘크리트의 투수계수가 무보강, PP섬유 및 수지보강 콘크리트 보다 낮게 나타났다. 이 경우도 선행하중 50%재하시와 마찬가지로 강섬유 및 하이브리드 강섬유보강이 투수성능 개선에 보다 효과적임을 알 수 있었다.
4) 수지 혼입의 경우, 공시체가 손상을 입지 않은 상태에서는 투수계수를 거의 측정할 수 없었으나, 하중이 증가 할수록 투수계수가 섬유보강의 경우보다 높게 나타났다. 따라서 콘크리트 구조물의 실제하중상태를 고려한다면 투수성능 개선을 위해서는 수지 보다는 강섬유 보강이 효과적임을 알 수 있었다.

이상과 같은 결론으로부터 콘크리트 투수성능은 하중상태에 따라 다르게 나타나기 때문에 실제 하중상태를 모사한 선행하중을 가한 상태에서 측정하는 것이 합리적이라고 판단되며, 강섬유 및 하이브리드 강섬유 보강이 콘크리트의 투수성능 개선에 효과적임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 전북대학교 부설 공학연구원 공업기술연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 연규석, 김관호, 이필호, 김동수, 박윤제, “불포화 폴리에스터 수지를 이용한 고강도 폴리머 콘크 리트의 역학적 특성”, 콘크리트학회 논문집, 제6권 3호, 1994.6., pp.131~141 Prentice-Hall, Inc., 1986.
2. 박응모, 조영국, 소양섭, “투수성 폴리머 콘크리트의 물성과 투수성능에 관한 연구”, 콘크리트학회지 제10권 6호, 1998.12., pp.213~222.
3. 문한영, 김성수, 정호섭, “투수성 콘크리트포장의 실용화를 위한 실험적 연구”, 콘크리트학회지 제10권 3호, 1998.6., pp.165~173.
4. Ballarini, R. “Crack Growth in Cement-Based Composites”, Engineering Fracture Mechanics, Vol 21, 1984 pp.433~445.
5. Mehta, P.K., Concrete : Structure, Properties, and Materials.
6. Neville, A.M.. Properties of concrete. 3rd edition. 1981.

(접수일자 : 2004년 8월 19일)