



가압식 투수시험장비를 활용한 아스팔트 혼합물의 투수성능 평가

Permeability Evaluation in Asphalt Mixture with Permeation Equipment of Constant Pressure Method

옥창권* 김진환** 이종섭***
 Ock, Chang Kwon Kim, Jin Hwan Lee, jong sup

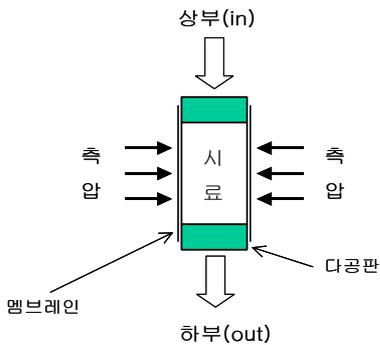
1. 서론

아스팔트 혼합물의 공극과다로 인하여 강우시 우수의 포장내 침투가 가속화 되어 토공부 포장과 교면포장의 조기파손을 초래하고 있다. 그러므로 아스팔트 혼합물의 공극률변화에 따른 투수성을 평가하기 위하여 가압식 투수시험기를 개발하였다. 밀입도 아스팔트 혼합물의 투수시험을 위해 개발된 가압식 투수시험기를 활용하여 구속압력 변화에 따른 투수, 수직압력 변화에 따른 투수 및 밀입도 아스팔트 혼합물(19mm, 13mm)과 SMA(13mm)혼합물의 공극률 변화에 따른 투수계수 변화를 측정하여 포장종류에 따른 공극률과 투수계수의 상관관계를 분석하였다.

2. 가압식 투수시험장비

2.1 개요

일반적으로 정수위 투수시험기는 공극률 15%이상인 아스팔트 시편에 대해 시험이 가능함으로 공극률이 10%미만의 경우 투수계수를 측정할수 있는 장비가 전무한 상황이다. 이에 밀입도아스팔트 혼합물의 투수계수를 측정할 수 있도록 가압식 투수시험기를 <그림 1>의 원리로 개발하였다. 시험전 우선 시료에 멤브레인으로 시료를 피복하여 물의 측면으로의 유입을 차단하고 구속압력을 가한상태에서 구속압력보다 작은 압력으로 상부에 수압으로 가압을 하여 시료를 통과한 물의 량과 시간을 측정하여 투수계수를 측정할수 있는 장비이다. <그림 2>는 가압식 투수시험기의 전경을 보여주고 있다.



<그림 1> 가압식 투수시험기 원리



<그림 2> 가압식 투수시험기 전경

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 도로연구팀 · 전임연구원 · 031-371-3361(ock@ex.co.kr)
 ** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 도로연구팀 · 연구원 · 031-371-3441(kimtopia@ex.co.kr)
 *** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 도로연구팀 · 연구원 · 031-371-3361(jura79@ex.co.kr)

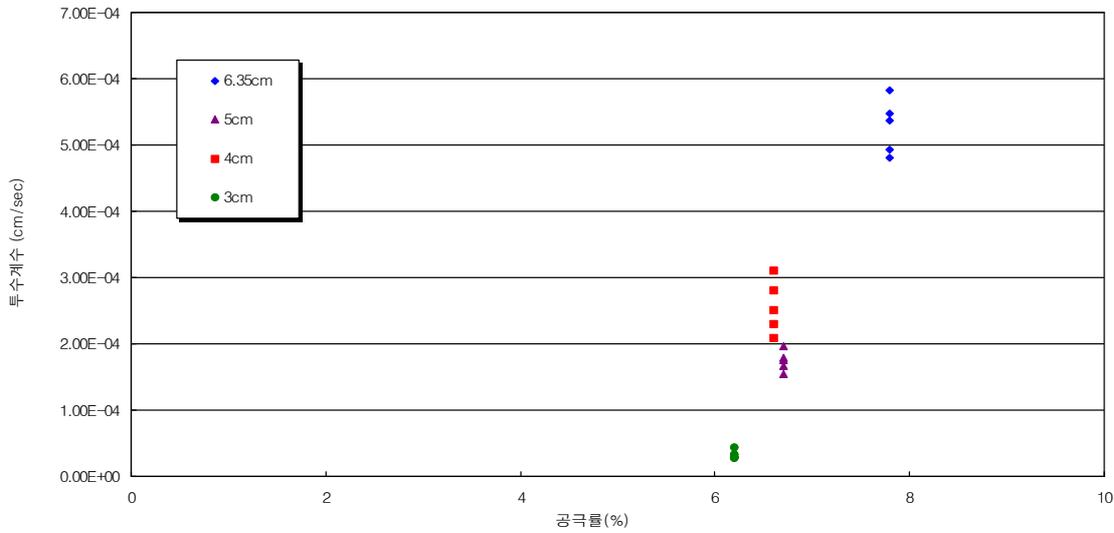


2.2 구속합 변화에 따른 투수

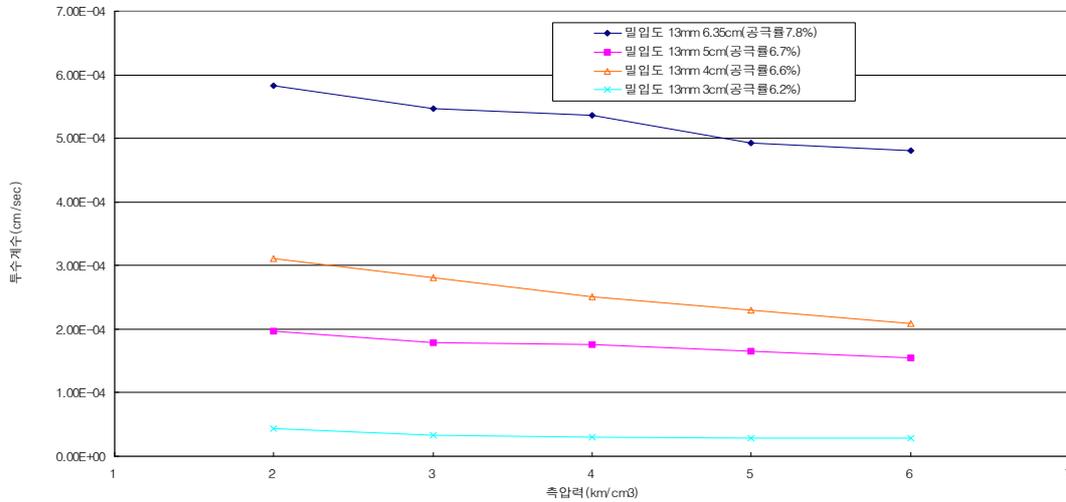
〈표 1〉은 상부압을 고정된 상태에서 구속압력(측압력)을 변화시키면서 시험을 수행한 결과이며, 상부(수직)압력은 1kg/cm^2 으로 고정된 상태에서 구속압력을 $2\text{kg/cm}^2 \sim 6\text{kg/cm}^2$ 까지 변화시키면서 투수시험을 수행하였다. 아스팔트 시험을 수행한 시편의 공극률 분포는 6.2%~7.8%인 시편을 사용하였다. 전체적인 경향은 〈그림 3〉과 같이 구속압력이 작은 경우에 투수계수가 크게 나타났으며, 그 차는 $0.0001\text{cm/sec} \sim 0.000016\text{cm/sec}$ 까지 차이가 발생하였다. 또한, 〈그림 4〉와 같이 공시체가 두꺼운 경우($t=6.35\text{cm}$)에는 측압의 압력변화에 따라 투수계수의 차가 크게 발생하는 것으로 나타났으며, 공시체 두께가 얇은 경우($t=3\text{cm}$)에는 측압의 압력변화에 따라 투수계수의 차가 작게 발생하는 것으로 나타나 공시체의 두께가 두꺼운 경우에는 측면을 따라 물이 침투할 수 있는 가능성이 큰 것으로 예상되며, 이를 방지하기 위한 추가적인 시험개선이 필요한 것으로 판단된다.

〈표 1〉 구속압력 증가에 따른 투수계수 변화(상부압력 1kg/cm^2 고정)

공시체 두께	공극률 (%)	구속압력 (kg/cm^2)	두께 (cm)	직경 (cm)	면적 (cm^2)	시간 (sec)	Δh (cm)	상부 유입량 (cm^3)	하부 유출량 (cm^3)	투수계수 (cm/sec)
6.35cm	7.8	2	6.43	10.20	81.7	30.01	1000.0	223.5	222.4	5.83E-04
		3	6.43	10.20	81.7	30.70	1000.0	214.6	213.5	5.47E-04
		4	6.43	10.20	81.7	30.05	1000.0	205.7	204.7	5.36E-04
		5	6.43	10.20	81.7	30.11	1000.0	189.3	188.4	4.92E-04
		6	6.43	10.20	81.7	30.08	1000.0	184.5	183.6	4.80E-04
5cm	6.7	2	5.17	10.08	79.8	30.23	1000.0	92.3	91.8	1.97E-04
		3	5.17	10.08	79.8	30.28	1000.0	84.1	83.6	1.79E-04
		4	5.17	10.08	79.8	30.67	1000.0	83.4	83.0	1.75E-04
		5	5.17	10.08	79.8	30.26	1000.0	77.2	77.5	1.66E-04
		6	5.17	10.08	79.8	30.28	1000.0	71.8	72.1	1.54E-04
4cm	6.6	2	4.18	10.11	80.3	30.29	1000.0	184.5	180.9	3.11E-04
		3	4.18	10.11	80.3	30.30	1000.0	164.0	163.2	2.80E-04
		4	4.18	10.11	80.3	30.29	1000.0	146.2	146.2	2.51E-04
		5	4.18	10.11	80.3	30.26	1000.0	131.9	134.0	2.31E-04
		6	4.18	10.11	80.3	30.14	1000.0	118.9	121.0	2.09E-04
3cm	6.2	2	3.20	10.16	81.1	30.30	1000.0	33.5	34.0	4.43E-05
		3	3.20	10.16	81.1	30.55	1000.0	25.3	25.8	3.34E-05
		4	3.20	10.16	81.1	30.13	1000.0	22.6	23.1	3.03E-05
		5	3.20	10.16	81.1	30.55	1000.0	20.5	21.8	2.81E-05
		6	3.20	10.16	81.1	30.52	1000.0	20.5	21.8	2.81E-05



〈그림 4〉 공시체 두께별 투수계수 변화(상부압력 1kg/cm² 고정)



〈그림 3〉 구속압 변화에 따른 투수계수 변화(상부압력 1kg/cm² 고정)

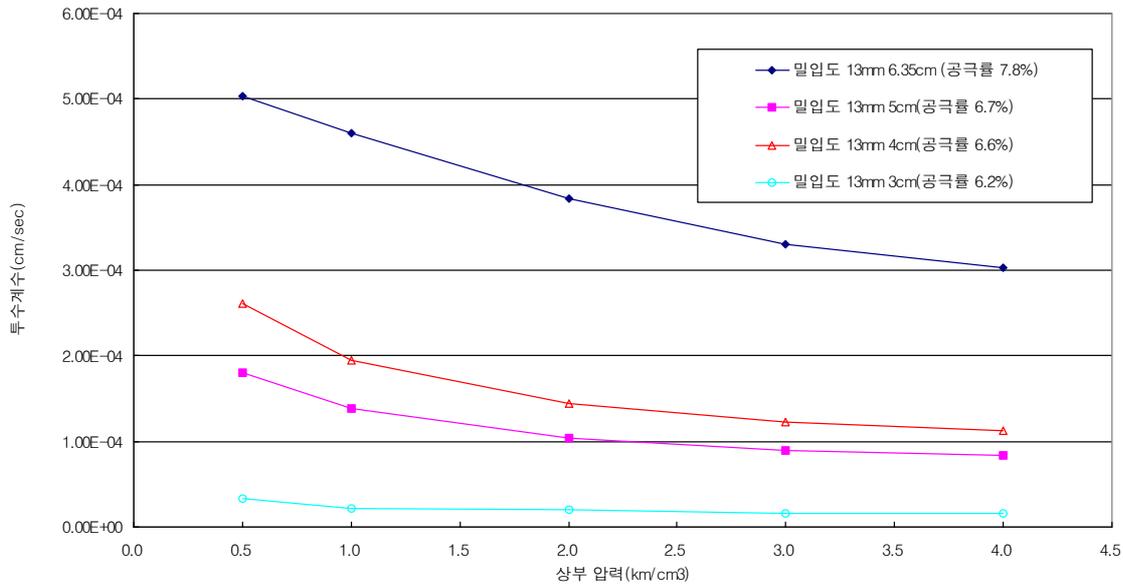
2.3 수직압력 변화에 따른 투수

〈표 2〉는 구속압력을 고정한 상태에서 상부(수직)압력을 변화시키면서 시험을 수행한 결과이며, 구속압력은 6kg/cm²으로 고정한 상태에서 상부압을 0.5kg/cm² ~ 4kg/kg/cm²까지 변화시키면서 투수시험을 수행하였다. 아스팔트 시험을 수행한 시편의 공극률 분포는 6.2%~7.8%인 시편을 이용하였다. 전체적인 경향은 〈그림 5〉와 같이 상부압이 작은 경우에 투수계수가 크게 나타났으며, 그 차는 0.0002cm/sec ~ 0.00002cm/sec까지 차이가 발생하였다.



〈표 2〉 상부압력 증가에 따른 투수계수 변화(측압 6kg/cm² 고정)

공시체 두께	공극률 (%)	상부압 (kg/cm ²)	높이 (cm)	직경 (cm)	면적 (cm ²)	시간 (sec)	△h (cm)	상부 유입량 (cm ³)	하부 유출량 (cm ³)	투수계수 (cm/sec)
6.35cm	7.8	0.5	6.43	10.20	81.7	63.61	500.0	205.0	203.3	5.03E-04
		1	6.43	10.20	81.7	34.94	1000.0	205.0	204.0	4.59E-04
		2	6.43	10.20	81.7	20.74	2000.0	204.3	202.0	3.83E-04
		3	6.43	10.20	81.7	15.95	3000.0	204.3	201.3	3.31E-04
		4	6.43	10.20	81.7	13.14	4000.0	205.0	202.0	3.02E-04
5cm	6.7	0.5	5.17	10.08	79.8	147.53	500.0	205.0	205.4	1.80E-04
		1	5.17	10.08	79.8	95.70	1000.0	205.0	204.7	1.39E-04
		2	5.17	10.08	79.8	63.23	2000.0	205.0	204.0	1.05E-04
		3	5.17	10.08	79.8	49.54	3000.0	205.0	204.7	8.92E-05
		4	5.17	10.08	79.8	39.67	4000.0	205.0	204.0	8.33E-05
4cm	6.6	0.5	4.18	10.11	80.3	81.72	500.0	205.0	205.4	2.62E-04
		1	4.18	10.11	80.3	54.82	1000.0	205.0	204.7	1.94E-04
		2	4.18	10.11	80.3	36.83	2000.0	205.7	204.7	1.45E-04
		3	4.18	10.11	80.3	29.14	3000.0	205.7	204.7	1.22E-04
		4	4.18	10.11	80.3	23.38	4000.0	205.0	203.3	1.13E-04
3cm	6.2	0.5	3.20	10.16	81.1	483.80	500.0	205.0	206.0	3.36E-05
		1	3.20	10.16	81.1	369.80	1000.0	205.0	206.7	2.21E-05
		2	3.20	10.16	81.1	209.88	2000.0	205.0	212.2	1.99E-05
		3	3.20	10.16	81.1	161.07	3000.0	205.0	202.6	1.66E-05
		4	3.20	10.16	81.1	127.04	4000.0	205.0	206.0	1.60E-05



〈그림 5〉 상부압력 증가에 따른 투수계수 변화(측압 6kg/cm² 고정)

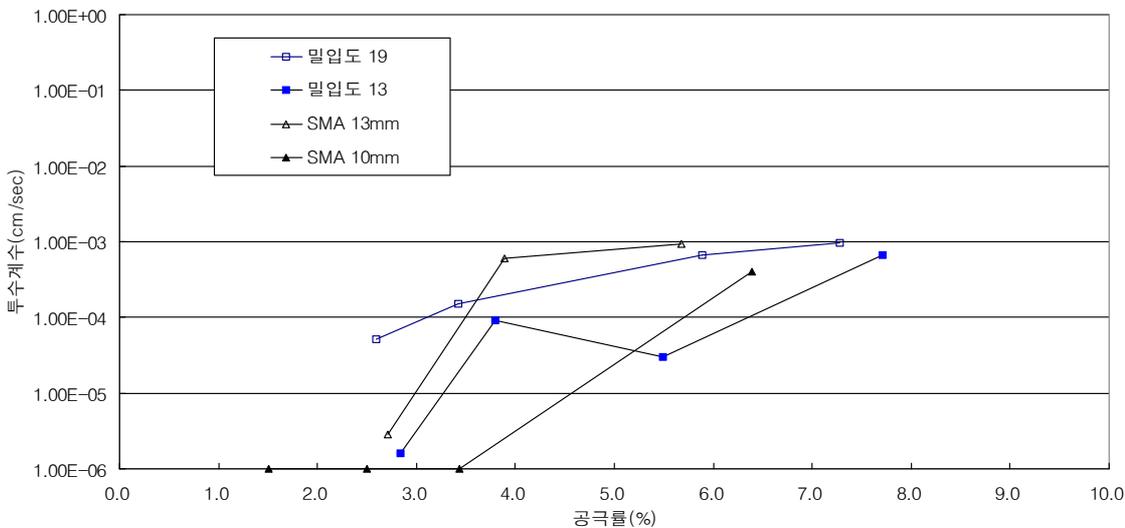


3. 공극률 변화에 따른 투수

구속압력 변화에 따른 투수시험과 수직압력 변화에 따른 투수시험 결과 가압식 투수시험장비가 원활히 시험을 수행할 수 있고 실제로 가해지는 수직압력을 최소화 할 수 있도록 구속압력과 수직압력은 각각 3kg/cm^2 과 1kg/cm^2 으로 결정하여 공극률 변화에 따른 밀입도 아스팔트 혼합물 2종류(19mm, 13mm)와 SMA 혼합물 2종류(13mm, 10mm)에 대해 투수시험을 수행하였다. 투수시험을 수행한 공극률 범위는 1.4% ~ 7.7% 이며, 공극률이 대략 3% 이하인 경우는 투수계수가 10^{-5} 이하로 내려가는 것으로 나타났으며, 이 상태는 불투수성에 근접한 상황으로 투수시험을 위한 물의 포화상태를 만들기가 어려워 투수시험을 수행할 수 없었다. <그림 6>과 같이 공극률 3% 이상부터 투수계수가 증가함을 알 수 있으며, 향후 공극률 7%이상에 대한 투수시험을 추가하여 공극률 변화에 대한 전체적인 투수특성을 평가하고자 한다.

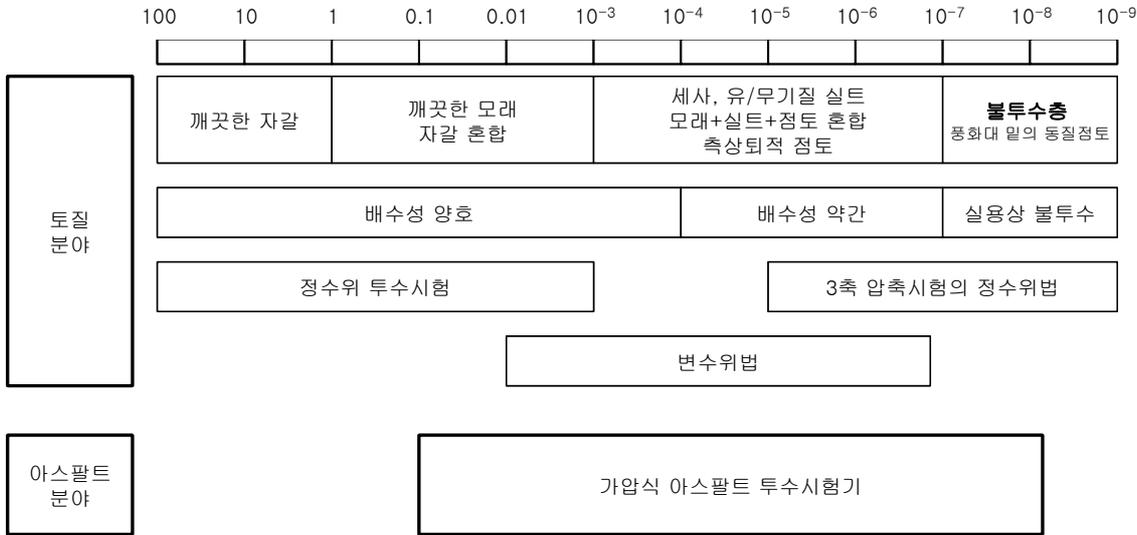
<표 3> 공극률 변화에 따른 투수계수

구 분		공극률 변화에 따른 투수계수			
밀입도 19	공극률(%)	2.60	3.42	5.89	7.28
	투수계수(cm/sec)	5.09E-05	1.52E-04	6.61E-04	9.83E-04
밀입도 13	공극률(%)	2.84	3.79	5.49	7.71
	투수계수(cm/sec)	1.62E-06	9.18E-05	3.03E-05	6.67E-04
SMA 13mm	공극률(%)	1.43	2.71	3.89	5.68
	투수계수(cm/sec)	0.00E+00	2.86E-06	6.06E-04	9.20E-04
SMA 10mm	공극률(%)	1.50	2.50	3.44	6.40
	투수계수(cm/sec)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.02E-04



<그림 6> 공극률 변화에 따른 투수계수 변화

<그림 7>은 투수계수에 따른 투수특성 및 투수시험기별 투수가능범위를 나타낸 것으로 아스팔트 시험을 수행한 시편의 공극률 분포가 1.4% ~ 7.7% 인 시편의 투수계수가 10^{-4} ~ 10^{-6} 분포로 나타나 다소의 투수가 있는 범위임을 알 수 있으며, 투수시험장비 종류에 따른 투수시험 가능범위를 대략 나타내었다.



〈그림 7〉 투수계수 범위 및 측정방법

4. 결론

본 연구를 통하여 도출한 결론적인 사항을 언급하면 아래와 같다.

1. 아스팔트 혼합물의 부적절한 배합설계 및 시공시 아스팔트 혼합물의 다짐부족 등으로 인하여 공극률이 크게 시공된 경우, 강우시 우수의 포장내 침투가 가속화 되어 토공부 포장과 교면포장의 조기파손을 초래하고 있다. 그러므로 아스팔트 혼합물의 공극률변화에 따른 투수성을 평가하기 위하여 가압식 투수시험기를 개발하였으며, 본 장비를 활용하여 아스팔트 혼합물의 투수성 평가에 유용할 것으로 판단된다.
2. 아스팔트 공시체 시편이 두꺼운 경우에는 구속압력의 압력변화에 따라 투수계수의 차가 크고 공시체 두께가 얇은 경우에는 구속압력의 압력변화에 따라 투수계수의 차가 작게 발생하는 것으로 나타나 공시체의 두께가 두꺼운 경우에는 공시체의 측면의 불규칙한 형상으로 인하여 측면을 따라 물이 침투할 수 있는 가능성이 큰 것으로 예상되며, 이를 방지하기 위한 추가적인 시험개선이 필요한 것으로 판단된다.
3. 구속압력을 고정한 상태에서 상부(수직)압력을 변화시키면서 시험을 수행한 결과, 상부압력이 증가할수록 투수계수는 작게 나타남으로 공극률 분포에 따른 적정 상부(수직)압력을 제시하여야 할 것으로 판단된다.
4. 가압식 투수시험장비를 활용하여 정수위 투수시험이 어려운 밀입도 아스팔트 혼합물의 투수계수 측정에 유용할 것으로 판단되며, 향후 추가적인 본 장비의 실험오차를 줄이기 위한 장비개선 등을 통해 포장종류별 및 공극률 변화별 투수계수를 제시하고자 한다.

참고문헌

1. 김용필, 지반공학 시험법 및 응용, 세진사, 2000. 3
2. 옥창권, 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구-교면포장 설계 및 시공지침, 국토해양부, 2008.7