

콘크리트 침투성 방수제의 실험적 연구

An Experimental Study on Permeable Water Proof Admixtures of Concrete

구민세* 박언규**

Koo, Min Se Park, Un Kyu

요 약

현재 우리나라 교량의 경우 상판의 열화현상을 극소화시키기 위하여 방수의 필요성이 절대적으로 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 지금 현재 국내에서 시공되고 있는 교량 방수 공법 중 침투성 방수제를 실내실험을 통하여 자연적 및 인위적 조건에 저항하는 특성의 파악을 위한 실험을 수행하였다.

실험결과 방수제 시공시기는 콘크리트 시공 후 14일 전후가 바람직하며, 콘크리트 강도의 증가에 따라 방수제의 침투깊이의 감소로 인해서 고강도 콘크리트를 사용할 경우 이 공법의 적용은 재고할 필요가 있는 것으로 판단된다. 방수제를 사용하는 경우 콘크리트의 내산성이 우수하게 나타나므로 침투성 방수제는 산성비에 대한 저항성이 크다. 그러나 방수제의 성능은 자연상태로 노출되어 있는 경우 그 수명이 영구적이 아니므로 교량의 슬래브에는 반드시 아스팔트 콘크리트를 포장하여야 한다. 실험결과로부터의 또다른 결론은 방수제로 인해 콘크리트의 내열성 및 내마모성이 증가됨을 알 수 있었다.

Abstract

At present, waterproof is absolutely needed to minimize the carbonation of bridge decks in Korea. In this research indoor experiments for penetrative waterproof admixture out of available methods are carried out to evaluate the resisting characteristics against natural and artificial carbonating conditions.

The test results show that the optimal time of waterproof is 14 days after the concrete construction but reconsideration is necessary for the application to high strength concrete because of the reduction in penetration of waterproof admixture. The results also show that the penetrative waterproof admixture has strong resistance to the acid rain. However the waterproof capability of the admixture is not permanent especially under the natural exposure. Therefore the slab of a bridge should be paved with asphalt concrete. Other noticeable effects are the increase of heat and abrasion resistances from the use of the waterproof agents.

Keywords : carbonation, penetrative waterproof admixture
acid rain, asfalt concrete, heat and abrasion resistance

* 정회원, 인하대학교 토목공학과 부교수

** 정회원, 한국화학시험연구원 연구원

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 1996년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

물은 우리 인류가 이 지구상에 존재하기 벌써 이전부터 존재하였으며, 우리들 뿐만이 아니라 모든 생명체의 근간을 이루는 것이다. 이처럼 우리 에겐 없어서는 안될 물이 반대로 괴로운 존재로서 작용되기도 했다.

이 [물]이 현대의 철근 콘크리트, 철골 콘크리트 등에 스며들어 철을 부식시켜 팽창케 하고 균열의 폭을 넓혀 구조물의 내구성을 떨어뜨려 급기야는 안전성을 위협하게 되었다.

콘크리트 경화에 없어서는 안될 물이 경화된 콘크리트에 스며들어 콘크리트의 수명을 단축케 하므로 어쩔 수 없이 물을 막는 방법이 중요한 연구대상이 되어 왔다.

특히 우리나라 교량의 상당수가 누수현상으로 콘크리트 박리와 철근의 부식현상을 유발시키고 있다. 또한 산성비에 의하여 콘크리트 구조물의 구조적인 손상을 많이 일으키고 있으며, 대기중의 아황산가스와 탄산가스 등이 콘크리트 구조의 공극을 파고들어 중성화시키고 있음을 알 수 있다.

교량의 경우 상판의 열화현상을 극소화시키기 위하여 여러가지 방법이 제시되고 있으며, 그 중에서도 방수의 필요성이 절대적으로 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 우리나라에서 시공되고 있는 교량 방수 공법 중 콘크리트 침투성 방수제를 실내실험을 행하여 여러가지 자연적 조건 및 인위적인 조건에 저항하는 특성을 파악하는 데 그 목적이 있다.

2. 실험 방법

2.1 재료선정

Table 1 Chemical composition and physical properties of portland cement

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Specific gravity	Fineness	Expansion	Setting time	Compressive Strength
(%)	(%)	(%)	(-)	(cm ² /g)	(%)	(hr:min)	(kg/cm ²)
20.4	2.9	5.2	3.15	3.300	0.07	Initial: 4:05 Final: 7:30	3days:210 7days:285 28days:398

2.1.1 시멘트(보통 포틀랜드 시멘트)

시멘트는 시중에 유통되고 있는 국내 내수용으로 제작회사에 관계없이 단일회사제품을 선택하여 시험하였고 그 물성치는 표 1과 같다.

2.1.2 골재

잔골재는 한강상류지역의 골재를 선정했으며 굵은 골재는 최대치수 25mm 쇄석골재로서 현장 조건을 고려하여 물세척을 하지 않고 사용하였다. 이에 따른 각 골재의 물성치는 표 2와 같다.

Table 2 Physical properties of aggregate

Testing Item	Aggregate		
	Sand	Gravel	
Specific gravity	(-)	2.59	2.63
Water absorption	(%)	0.74	0.56
Fineness modulus	(-)	2.78	6.68
Chloride content	(%)	0.006	-
Clay content	(%)	0.8	0.1
Soundness	(%)	2.9	2.1
Unit weight	(kg/m ³)	1540	1614
Abrasion	(%)	-	18.7
Soft particles	(%)	-	1.0

2.1.3 침투성 방수제

침투성 방수제는 3개의 종류를 선정하여 침투 깊이를 시험을 실시하고 동일한 침투성 방수제로 흡수비 및 전향목 시험을 실시하였다. 방수제는 모두 실리콘 침투성 방수제로서 비중은 각사 제품 공히 0.82로 나타났다.

2.2 실내실험

2.2.1 콘크리트 배합

콘크리트는 표 3에 나타낸 배합표에 의해서 KSF 2425(실험실에서 콘크리트 시료를 만드는

Table 3 Mix proportion

Maximum size of gravel (mm)	Slump (cm)	Air Content (%)	W/C (%)	S/a (%)	Materials (kg/m ³)				
					W	C	S	G	Ad
25	12	4.5	64.6	45.4	181	280	839	1008	C×0.15%
25	12	4.8	53.4	43.1	178	333	781	1030	C×0.15%
25	12	4.0	47.0	41.8	176	374	746	1037	C×0.15%
25	12	4.2	35.1	39.7	172	490	676	1025	C×0.15%

방법)의 방법에 따라 콘크리트 몰드 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 및 $\phi 15 \times 5\text{cm}$ 몰드를 각각 제작하였다.

2.2.2 방수제 도포

침투성 방수제는 유성(비중: 0.82)이므로 물이 있는 상태에서는 도포가 잘되지 않으므로 표면을 건조시켜서 도포를 실시하여야 한다. 따라서 공시체를 $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 건조기에서 표면을 완전 건조한 후 방수제를 도포한다. 도포방법은 도포용 스프레이건을 사용하여(표준도포량은 한국도로공사 시방서: $4\text{m}^2/\ell$)¹⁾ 1차 도포 후 2~3시간 실내 건조후 다시 2차 도포하여 실내에 방치한 후 재령별로 다음과 같은 다양한 실험을 수행하였다.

2.2.3 침투깊이 및 방수제 도포시기

침투깊이 측정은 그림 1과 같이 공시체를 완전 건조한 후 절단하여 공시체 표면에 물을 흡수시켜 물이 스며들지 않는 부분을 버니어 캘리퍼스로써 측정하였다.

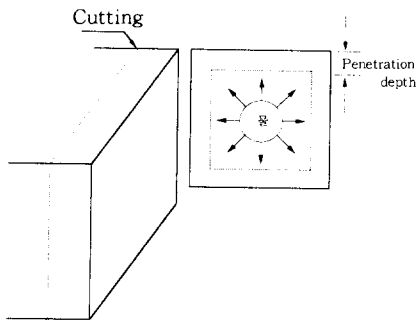


Fig. 1 Measurement the depth of penetration

또한 콘크리트 타설 후 어느 시기에 방수제를 도포하는 것이 가장 적합한지를, 그리고 요즘 콘크리트 구조물이 고강도 쪽으로 발전해 가고 있으므로 강도별 침투깊이는 어떻게 나타나고 있는가를 조사해 보기 위해서 호칭 강도(150 kg/cm^2 , 210 kg/cm^2 , 270 kg/cm^2 , 400 kg/cm^2) 공시체를 제작하여 14일 후 표준 도포량으로 도포하여 실내 방치 후 도포 재령 2일, 7일, 14일, 28일 후 각각 침투깊이를 측정하였으며 그 결과는 표 4와 같이 나타났다.

Table 4 The depth of penetration with age

Period	Strength (kg/ cm^2)	150			210			270			400																																																																																																																																																																																																								
		2days	1	2	3	1											2	2	2	3										3	2	3	3									\bar{x}	2.5			-			-			-			7days	1	6	6	4	2	3	4	4	3	2	2	3	3	2	7	4	4	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3	5	4	5	4	2	3	2	4	2	1	2	2	\bar{x}	5.5			3.0			2.8			2.2			14days	1	7	5	5	5	5	6	5	3	2	2	3	2	2	7	8	6	2	2	2	2	3	3	4	2	2	3	5	4	7	4	6	5	3	4	3	2	3	3	\bar{x}	6.0			4.1			3.1			2.6			28days	1	8	8	10	2	2	3	3	3	3	2	4	5	2	5	9	4	2	7	9	3	4	7	2	3	2	3	5	4	5	8	3	3	3	3	2	2	2	2	\bar{x}	6.5			4.5			3.4			2.8
		2	2	2	3										3	2	3	3									\bar{x}	2.5			-			-			-			7days	1	6	6	4	2	3	4	4	3	2	2	3	3	2		7	4	4	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3	5	4	5	4	2	3	2	4	2	1	2	2	\bar{x}	5.5			3.0			2.8			2.2			14days	1	7	5	5	5	5	6	5	3	2	2	3	2		2	7	8	6	2	2	2	2	3	3	4	2	2	3	5	4	7	4	6	5	3	4	3	2	3	3	\bar{x}	6.0			4.1			3.1			2.6			28days	1	8	8	10	2	2	3	3	3	3	2	4		5	2	5	9	4	2	7	9	3	4	7	2	3	2	3	5	4	5	8	3	3	3	3	2	2	2	2	\bar{x}	6.5			4.5			3.4			2.8												
		3	2	3	3									\bar{x}	2.5			-			-			-			7days	1	6	6	4	2	3	4	4	3	2	2	3		3	2	7	4	4	2	3	2	2	2	3	2	2	2		3	5	4	5	4	2	3	2	4	2	1	2	2	\bar{x}	5.5			3.0			2.8			2.2			14days	1	7	5	5	5	5	6	5	3	2	2		3	2	2	7	8	6	2	2	2	2	3	3	4		2	2	3	5	4	7	4	6	5	3	4	3	2	3	3	\bar{x}	6.0			4.1			3.1			2.6			28days	1	8	8	10	2	2	3	3	3	3		2	4	5	2	5	9	4	2	7	9	3	4		7	2	3	2	3	5	4	5	8	3	3	3	3	2	2	2	2	\bar{x}	6.5			4.5			3.4			2.8																						
	\bar{x}	2.5			-			-			-																																																																																																																																																																																																								
7days	1	6	6	4	2	3	4	4	3	2	2	3	3																																																																																																																																																																																																						
	2	7	4	4	2	3	2	2	2	3	2	2	2																																																																																																																																																																																																						
	3	5	4	5	4	2	3	2	4	2	1	2	2																																																																																																																																																																																																						
	\bar{x}	5.5			3.0			2.8			2.2																																																																																																																																																																																																								
14days	1	7	5	5	5	5	6	5	3	2	2	3	2																																																																																																																																																																																																						
	2	7	8	6	2	2	2	2	3	3	4	2	2																																																																																																																																																																																																						
	3	5	4	7	4	6	5	3	4	3	2	3	3																																																																																																																																																																																																						
	\bar{x}	6.0			4.1			3.1			2.6																																																																																																																																																																																																								
28days	1	8	8	10	2	2	3	3	3	3	2	4	5																																																																																																																																																																																																						
	2	5	9	4	2	7	9	3	4	7	2	3	2																																																																																																																																																																																																						
	3	5	4	5	8	3	3	3	3	2	2	2	2																																																																																																																																																																																																						
	\bar{x}	6.5			4.5			3.4			2.8																																																																																																																																																																																																								

2.2.4 흡수비

KSF 2451(건축용 시멘트 방수제 시험방법)³⁾에 의거 공시체를 탈형 후 14일 수중 양생을 실시하여 공시체를 완전건조시킨 후 소정의 방수제를 도포하여 14일간 실내 방치하였다. 그 후 콘크리트 표면에서 코아를 채취한 것으로 가정하여 그림 2와 같이 공시체 옆면을 Epoxy로 처리하여 옆으로 물이 흡수되지 못하게 하고 방수처리면으로 물이 흡수되도록 하여 24시간 침수후 흡수된 물의 양을 측정하였다. 기준 콘크리트(방수처리되지 않은 콘크리트)도 같은 방법으로 시험을 실시하였다.

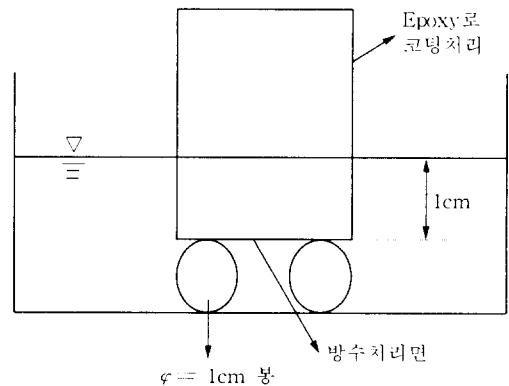


Fig. 2 Testing of water absorption

2.2.5 내산성 시험

최근 공해문제 중에서 산성비가 콘크리트에 미치는 영향 즉, 방수처리 콘크리트가 산성비에 저항하는 정도를 파악하기 위하여 황산 용액 중에 콘크리트를 침적시켜 용액 중에서 강도 400kg/cm²를 기준으로 하여 콘크리트가 부식되는 정도 즉, 중량변화를 측정하였다.

2.2.6 내후성 시험

콘크리트 표면에 방수제 처리 후 아스콘을 도포하지 않고 눈, 비 등의 자연상태 그대로 노출되어 있을 때 그 수명이 어느 정도인지를 알기 위해서 내후성 실험을 행하였다.

이 시험은 KSM 5000(도로 일반 시험 방법)에 의거 300, 600, 900, 1200 시간대별 방수처리 공시체와 기준 콘크리트 공시체의 흡수량을 각각 측정하여 그 성능을 평가하였다.

2.2.7 내마모성 시험

2.2.6의 내후성 시험처럼 자연상태로 노출된 면에 차량의 운행에 의한 방수처리면의 마모 상태를 알기 위해서 이 시험을 행하였다.

여기서 W/C=28% 시멘트 풀 상태의 시료(φ 10×0.5cm)를 만들어 14일 양생 후 표면에 방수제 도포 후 14일 실내 방치하였고, Taber 마모 시험기에서 마모휠 중량 1kg 상태에서 500회 회전하여 마모된 감량을 측정하였다.

2.2.8 내열성 시험

콘크리트 표면에 아스콘 작업시 아스콘의 온도에 의해서 초기의 방수력을 유지할 수 있는지를 알기 위해서 이 시험을 행하였다. 이 실험에서는 방수 처리 공시체를 각 온도 분포별 24시간 방치 후 흡수량을 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 침투깊이 및 방수제 적정 도포시기

침투성 방수제의 기본원리는 침투성 방수제가 콘크리트 표면의 미세공극을 따라서 방수제가 침

투하여 1차적인 수막을 형성하면서 콘크리트내의 Si 성분과 계속적인 화학작용으로 결합, 확산되어 균일한 깊이의 막을 형성케하는 것이다. 침투깊이는 침투성 방수제의 가장 기본이 되는 시험항목이다. 즉, 침투깊이가 깊을수록 방수층이 두껍게 형성되어서 보다 큰 방수효과를 기대할 수 있기 때문이다.

앞장의 표 4와 그림 3에 나타난 침투깊이 측정 결과 호칭강도가 낮은 경우 침투깊이가 많이 뵈을 수 있었다. 즉, 방수제 도포 후 14일까지는 침투깊이가 뚜렷이 나타나지만 14일 이후는 침투되는 깊이가 거의 미세하게 나타나고 있다.

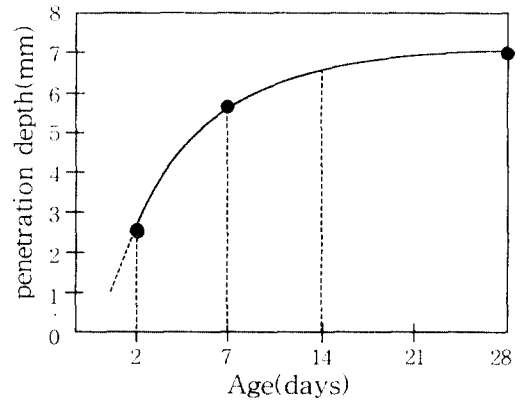


Fig. 3 The depth of penetration with age (150kg/cm²)

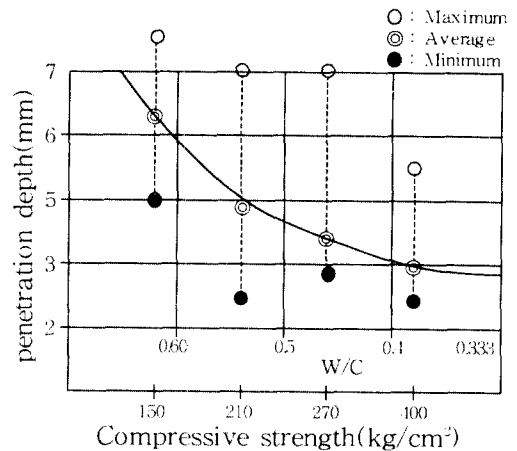


Fig. 4 The depth of penetration versus concrete strength (280 days)

이 현상으로부터 일반적으로 콘크리트 강도를 28일을 기준으로 할 때 콘크리트 타설 후 14일 전후로 방수제를 도포하는 것이 가장 이상적임을 알 수 있다.²⁾

또한 침투깊이가 도포 재령 28일에 대한 콘크리트 강도와 관계에 대해 그림 4에서 보여 주듯이 고강도일수록 침투되는 깊이는 상대적으로 낮아 지므로 침투깊이는 콘크리트 강도에 의해서 크게 좌우됨을 알 수 있다.

3.2 흡수비

모든 방수제 시험 중 흡수비 시험은 가장 기본이 되는 시험항목이다. 즉, 방수처리한 공시체와 방수처리하지 않은 공시체를 물 속에 침수시켜 일정기간이 경과 후 흡수된 물량으로써 서로 상대비교하여 방수성을 평가하는 방법이다. 각 회사별 흡수비 실험 결과는 표 5와 같다.

$$\text{흡수비} = \frac{\text{방수처리한 공시체 흡수량(g)}}{\text{방수처리하지 않은 공시체 흡수량(g)}}$$

여기서 흡수비가 낮을수록 제품의 성능은 더 우수하다. 현 도로공사 시방서에서는 흡수비를 0.031 이하로 요구하고 있으나 본 실험결과 침투성 방수제가 이 기준을 만족하지 못하는 결과를 얻었다(0.036~0.048).

Table 5 Testing result of water absorption

	Dry condition	Under water(24hrs)	Water absorption(g)	The ratio of water absorption
Basics	3684.2	3715.3	31.1	-
A Co	3642.0	3644.3	1.3	0.042
B Co	3688.1	3689.2	1.1	0.036
C Co	3702.4	3703.9	1.5	0.048

3.3 자연상태에 저항하는 정도

최근 공해문제가 대두되고 있는데 공기오염 등에도 콘크리트를 침식하는 유해 성분인 가스가 다량으로 포함되어 있다.

여기에 공장지대 또는 화학공장 등에 대해서는 그 위험이 증가하여 보다 절실하게 콘크리트 구조

물의 침식에 의한 피해가 확산되고 있으며, 이 경우에는 특히 가스 뿐만 아니라 폐수로 처리되는 황산, 염산 등의 용액에 콘크리트가 부식된다. 이 경우 해수, 유기물을 포함한 오수와는 달라서 그 피해의 침식속도가 빠르기 때문에 콘크리트 구조물에 대해서는 방입할 수 없는 큰 문제이다.

본 시험에서는 콘크리트와 접촉하는 화학 농도의 정도에 의해서 화학적 침식을 평가하여 내산성 즉 산성비에 저항하는 정도를 고찰하였고, 그 결과 표 6 및 그림 5에 나타난 것처럼 황산용액 20% 상태에서 방수처리된 콘크리트가 산성비에 대해서도 약 2.5배 정도 저항성이 개선되었음을 알 수 있다.

Table 6 Test result from sulfuric acid solution

Period(day)	Basics		Water proof	
	weight(g)	falling-off(%)	weight(g)	falling-off(%)
0	3620	0	3580	0
1	3584	1	3575	0
3	3548	2	3544	1
7	3511	3	3540	1
28	3475	4	3508	2
90	3330	8	3473	3

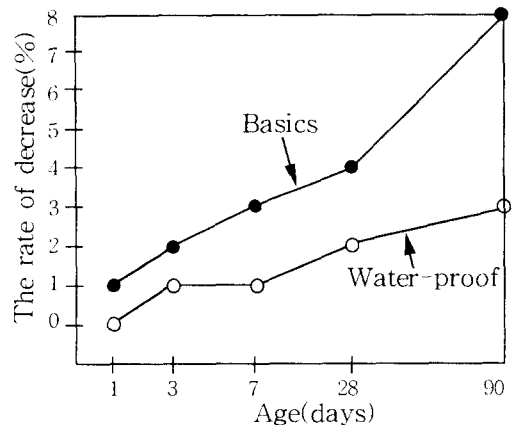


Fig. 5 Acidity-resistant & weight falling-off

화학공장 지대의 배기가스, 또는 공장 폐수가 접촉하는 구조물에는 침투방수 시공이 절대적은 아니지만 효과적이라는 것이 강조되어진다.

또한 아스콘을 도포하지 않고 자연상태에 노출되어 있는 경우의 내구성 기간에서는 표 7에 나타

난 것처럼 방수처리 공시체는 시간이 경과함에 따라 흡수량이 상승됨을 알 수 있다.

일반적으로 도로 내후성 시험에서 300시간을 시험한 것은 자연 상태의 약 1년에 해당된다고 알려져 있는데⁴⁾⁵⁾ 그림 6의 결과로부터 방수 처리면은 자연상태로 노출이 되어 있는 경우 약 3년 후에는 그 성능이 절반 정도 반감됨을 알 수 있다.

따라서 교량면에서는 필히 아스콘을 포장하여 자연으로부터 직접적인 눈, 비 등의 상태로부터 보호할 필요가 있다.⁶⁾

Table 7 Testing result of Accelerated weathering

Period(Hrs)	Absorption amount(g)	
	Basics	Water proof
100	15.0	2.0
300	15.4	2.3
600	15.5	3.0
900	16.2	4.9
1200	16.6	7.8

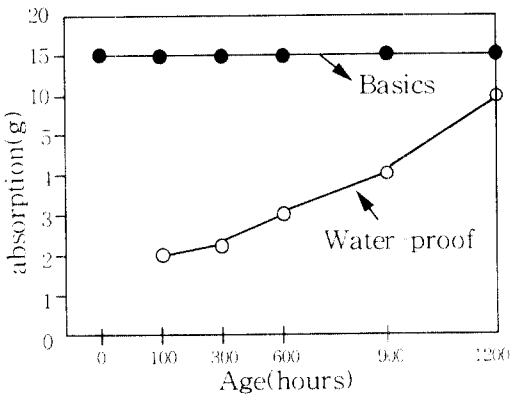


Fig. 6 Absorption amount versus age

3.4 내마모성, 내열성 및 조직

방수처리면으로 차량이 이동할 시 방수 처리면의 마모 상태를 조사해 본 결과 표 8에 나타난 것처럼 방수처리면이 일반 콘크리트면에 비해서 마모성에 저항하는 정도가 16.5% 향상되는 것으로 나타났다.

그리고 아스콘 타설시의 온도는 약 140℃ 정도 이므로 이 온도에 의한 초기 방수력을 유지하는

능력을 시험해 본 결과 그림 7에서처럼 온도에 따른 흡수량의 변화는 거의 없는 것으로 조사되었다.

따라서 온도에 의한 흡수량은 실제 상황에서는 큰 의미가 없는 것으로 사료된다.

Table 8 Testing result of abrasion-resistant

	Before test	After test	A loss in Quantity(g)	The rate of increase(%)
Basics	73.4246	74.4790	1.0544	-
Water proof	73.0042	73.8846	0.8804	16.5

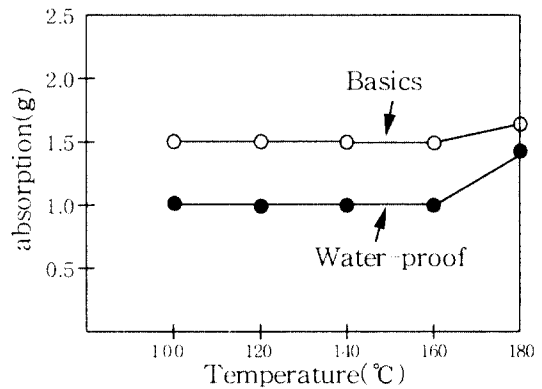


Fig. 7 Temperature versus absorption amount

5. 결 론

현재 교량 방수에서 시공되고 있는 침투성 방수제를 실내 실험을 통하여 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 국내 침투성 방수제의 방수효과에 있어서 흡수비가 0.036~0.048로 나타난 결과는 도로공사시방서 0.031 이하의 기준을 만족하지 못한다.

2) 도포시기는 콘크리트 타설 후 14일 전후가 바람직하며 침투깊이는 콘크리트 강도가 증가함에 따라 콘크리트 조직이 치밀하게 되므로 침투깊이가 감소하게 된다. 따라서 400kg/cm² 이상의 고강도 콘크리트에 사용시 이 공법의 적용은 재고할 필요가 있다.

3) 방수도포면이 자연상태로 노출이 되어 있는 경우 그 수명이 영구적이 아니므로 교량면에서는

아스콘을 포장하며 방수면을 보호해서 좀 더 영구적으로 방수성을 유지할 수 있게끔 하여야 한다.

4) 일반 콘크리트 도포면에 적용시 차량 이동으로 인한 내마모성도 우수하게 나타나고 있다. 또한 현미경 조직관찰 결과 방수 처리면의 조직이 더 조밀하게 나타나므로 방수효과를 좀 더 구체적으로 확인할 수 있다.

5) 방수처리후 미세한 균열이라도 발생되면 균열 부위의 방수 성능은 거의 기대할 수 없으므로 압축면에서의 침투성 방수제의 사용이 유효하다.

참 고 문 헌

1. 한국도로공사 표준시방서
2. “침투성 방수제에 관한 실내실험”, 북일본 기술콘설턴트(주)
3. KSF 2451(건축용 시멘트 방수제 시험 방법)
4. KSM 5000(도로 일반 시험 방법)
5. KSF 2271(건축용 합성수지제의 촉진노출 시험 방법)
6. “도로교, 철근콘크리트 상판 방수층 설계”, 일본도로협회

(접수일자 : 1995. 11. 10)