

투수성 도로포장재의 내구성 향상에 관한 연구

오 헌 수 · 홍 영 근[†]

수원대학교 신소재공학과

(2007년 3월 5일 접수, 2007년 4월 4일 수정 및 채택)

A Study on Enhancement of the Durability of Permeable Pavement Material

Hun Su Oh and Young Keun Hong[†]

Department of Polymer Engineering, The University of Suwon, Suwon 440-600, Korea

(Received March 5, 2007, Revised & Accepted April 4, 2007)

요 약 : 본 연구에서는 페타이어를 재활용한 투수성 도로포장재의 내구성을 향상시키기 위하여 이 포장재에 사용되는 폴리우레탄(PU) 접착제를 개발하고 다른 첨가제의 투입에 따른 물성 변화를 조사하였다. PU중합은 무용제형의 벌크중합법을 사용하였으며 첨가제로는 카본블랙, 탄산칼슘(CaCO₃) 및 자외선(UV)안정제를 사용하였다. 물성으로는 도로포장재에 요구되는 압축강도를 통하여 환경조건에 따른 저항성을 측정하였다. 중합된 PU 중에 에스터기로 형성된 폴리올과 가교를 형성할 수 있는 사슬연장제가 포함된 경우에 74.9 kgf/cm²로 높은 압축강도를 나타내었으며, 이것은 기존에 사용하던 1액형 PU접착제보다 약 15 kgf/cm² 향상된 결과이다. 또 첨가제로서 카본블랙과 탄산칼슘을 각각 20 wt%를 함께 투입하였을 때가 가장 높은 강도를 보였으나, UV안정제를 사용했을 경우에는 뚜렷한 내후성의 향상을 관찰할 수는 없었다.

ABSTRACT : In this study, for enhancing the durability of permeable pavement material polyurethane(PU) adhesives were developed, and the physical properties upon polymerization and additives were studied. PU polymerization followed the bulk polymerization of free solvent type considering ecological aspect. Additives used in this study were carbon black, calcium carbonate and ultra violet stabilizer. The property changes upon different environment were evaluated with the compressive strength which is the principal measurement of the property of pavement materials. Among polymerized PU, one formulated with esterpolyol and crosslinkable chain extender gave the highest compressive strength of 74.9 kgf/cm², better than commercial 60 kgf/cm². The strength was the highest when the material specimen contained carbon black and calcium carbonate 20 wt%, respectively. However, UV stabilizer did not show good weathering properties.

Keywords : permeable pavement material, durability, compressive strength

I. 서 론

국민 소득의 증대와 산업의 발전으로 인해 기하급수적으로 증가된 자동차는 현재 국민 3명당 1대

꼴인 1600만대를 넘어섰으며,¹ 이에 따라 해마다 엄청난 수(약 2천3백만개)의 페타이어가 배출되고 있으나,² 이들 페타이어는 대부분 토목공사(군부대 진지 구축) 등 단순 재이용되거나 수출되고 있으며, 가공이용, 열이용 등 부가가치를 높일 수 있는 용도로는 상당히 미미한 수준에 머물고 있다.³

[†] 대표저자(e-mail : ykhong@suwon.ac.kr)

또한, 즉시 재활용이 되지 않은 페타이어는 쌓여 불미스러울 뿐 아니라 화재 발생 또는 건강 악화의 원인이 될 수 있으며 환경문제를 야기할 수 있다.⁴

따라서, 환경문제의 해결과 경제성 측면을 충족시킬 재활용 기술에 대한 관심이 높아지고 있는데 현재까지 진행되고 있는 페타이어 재활용에 관한 연구는 처리 방법에 따라서 크게 물리적 처리, 화학적 처리 그리고 소각 처리로 구분된다. 효율적으로 페타이어를 대량 소모할 수 있는 방법 중의 하나가 페타이어를 분쇄, 분말화하여 재활용하는 방법이다.⁵

자동차용으로서의 페타이어 분말 이용에는 범퍼, 브레이크 패드 등이 있고, 토목용으로는 고무벽돌, 보도블럭 등 건축자재로 이용되거나 고무콘크리트, 고무아스팔트로 도로 포장에 이용된다.^{6,7}

오늘날 콘크리트는 포틀랜드 시멘트 기술의 개발과 더불어 도로, 항만, 하수도 등과 같은 토목구조물이나 각종 건축물에 사용되면서 많은 공헌을 하였으나, 21세기에 당면한 지구환경의 보존문제 등에 봉착하여 보다 친환경적인 기술 개발이 요구되고 있다.

투수 콘크리트는 환경친화적인 제품이라는 점에서 전 세계적으로 보급되고 있다. 일반적으로 투수 콘크리트는 땅속과 땅위를 단절시키는 기존의 콘크리트나 아스콘의 단점을 보완하여 빗물 등이 스며들 수 있도록 한 환경친화적인 포장재를 가리키며, 보도용과 차도용에 따라 강도가 다른 골재가 사용되고 있다.

일반적으로 보도 등의 포장에 사용되는 투수 콘크리트로는 투수성 아스팔트 콘크리트와 투수성 시멘트 콘크리트가 있다. 투수성 시멘트 콘크리트는 골재에 입힌 높은 점성(slump = 0)의 시멘트 paste에 의해 공극 구조 형태⁸를 가지고 있음에도 불구하고, 낮은 응력과 큰 공극용적 때문에 적용분야의 한계성을 갖게 되었다. 그러나 최근에 이런 형태의 콘크리트가 갖는 높은 공극용적에 대해 언급되기 시작했다. 예를 들면, 1989년부터 개발한 투수성 콘크리트를 스페인 살라만 카시에 1994년 11월 세계 최초로 25 cm 두께로 도로 포장용으로

타설하였으며, 이 도로는 하루 316대의 교통량으로 구분되는 B교통에 해당되어 현재 만족한 결과를 보이고 있다.⁹ 또한, 이 투수성 콘크리트는 환경친화적으로서 식물이 자랄 수 있는 가능성도 보여주고 있다. 식물이 자랄 수 있는 이 다공성 콘크리트 블록을 토양 위에 설치하면 비와 토양으로부터 수분을 흡수하여 종자가 발아, 성장되고, 이 식물 뿌리의 성장으로 녹화가 완료되면 도로 사면 안정 처리뿐만 아니라 방음 시설로 활용될 수 있어 투수성 콘크리트는 환경친화적인 입장에서 무척 흥미로운 건축토목용 재료이다.⁹

국내에서도 투수콘크리트 기술은 1980년대 초 도입된 이후 꾸준히 연구개발을 거듭하여 해외와 비견할 정도의 발전을 보이고 있다. 현재 투수성 시멘트 콘크리트와 투수성 아스팔트 콘크리트에 대하여는 토목공사의 표준시방서가 제시되어 있다. 제조업체 대부분은 칼라콘, 배수콘 등 자사의 고유 브랜드를 붙여 시판하고 있으며 대부분은 관급시장에 의존하고 있다.

해외에서도 배수성 투수 포장재료로서는 투수성 콘크리트를 사용하는 기술, 투수성 아스팔트를 사용하는 기술 이외에도 플라스틱 그리드 시스템을 사용하는 기술, 블럭 포장재를 사용하는 기술 등이 개발되어 있다.¹⁰

이와 관련하여 투수성 시멘트 콘크리트에 관한 기술로는 “투수성 시멘트 몰탈 또는 콘크리트 조성물 및 이를 이용한 구조물의 제조방법”¹¹에 제시된 시멘트, 쇄석골재, 고무라텍스로 된 바이더, 폴리시로킨산계 소포분산조제분말 등을 소정 비율로 배합하는 기술을 비롯하여, 투수성 운동장 표면의 구조에 관한 기술¹²을 볼 수 있다. 또한 투수성을 높이고 페타이어분말과 접착제만을 사용하여 제조공정을 단순하게 한 기술¹³도 있다.

또한 탄성과 투수성을 구비한 포장 기술로, “투수성 포장평판 및 그 제조방법”¹⁴에 개시된 골재, 모래, 시멘트 결합제 등을 일정비율로 혼합 결합하여 공극을 갖는 콘크리트기층 위에 공극을 갖는 합성수지 결합제로 이루어진 탄성표층부를 갖는 2층 구조를 갖도록 한 기술을 볼 수 있으며, 다른 것은 폐고무, 폐플라스틱 등으로 된 탄성과 통수성

을 갖는 매트제를 부설하여 스포츠 유희용 코트를 제작하는 기술¹⁵을 제시하고 있다. 이외에도, 투수성 콘크리트 블록으로된 하층재와 고무 또는 플라스틱 재질의 상층재를 접착제로 결합하여 탄성층을 갖는 도로포장용 복합재 제조 기술¹⁶이 제시되어 있으며, 고무칩을 사용한 투수성 탄성 블록 제조 기술¹⁷도 제시되어 있다.

초기에는 투수 콘크리트의 수요도 공원의 산책로나 자전거 도로 등에 제한적이었으나, 현재는 인도, 주차장, 차도 등으로 점점 확대되는 추세를 보이고 있다. 일본의 경우 고기능 포장이라는 이름하에 배수성 투수성 포장을 적용하는 사례가 확대되는 실정으로서, 일본도로공단(일본도로공사)이 관리하는 고속도로 640 Km 가운데 약 25% 정도가 고기능 포장으로 교체되었고 도쿄-치바 간 고속도로 등에서도 교체공사가 진행 중에 있다.¹⁸

또한 일본에서는 다공성의 투수콘크리트를 기반으로 초목 및 수목의 생육에 이용할 수 있는 식생 콘크리트로 적용하여 시장영역을 넓혀가고 있다.

그러나 종래 투수 콘크리트에 있어서는 골재 간의 공극률을 크게 하기 위한 역작용으로 도로의 충분한 강도를 구현하기가 어려웠고, 포장된 도로 표면이 거칠거나 탄성이 없어 자전거나 차량 등에 안정감을 줄 수 없었고, 보행자가 다치거나 피로감을 주는 등의 문제점을 안고 있었다.

따라서, 페타이어 또는 폐고무를 이용한 콘크리트 제조방법¹⁹이 공지되어 있으나, 이들은 투수성이 부족하며 제조공정이 복잡하다는 단점이 있다. 또한 투수성을 높이고 페타이어분말과 접착제만을 사용하여 제조공정을 단순하게 한 기술²⁰은 압축강도가 약하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 이러한 단점을 극복하고 새로운 방법으로 제조되는 탄성 투수성 도로포장재²¹를 가지고 이 도로포장재의 성능향상을 위하여 바인더로 이용되고 있는 고강도 우레탄 접착제를 합성하고 다른 첨가물을 동원하여 이 도로포장재의 내구성 향상을 기하였다. 이 도로포장재는 페타이어분말과 골재를 혼합하여 탄성과 강도를 부여한 것으로서, 골재에 첫 번째 바인더를 입히고 여기에 페타이어분말을 입힌 것을 고무자갈이라 하고 이 고

무자갈들을 우레탄 등의 두번째 바인더로서 붙여 놓는 공정으로 이루어진다.

폴리우레탄은 분자 중에 우레탄 결합을 가진 것으로서 주로 디이소시아네이트류와 폴리올과의 반응에 의해서 만들어진다. 이 수지는 강인하고 내마모, 내유 및 내용제성이 뛰어나고, 고무탄성이 있으므로 발포체, 탄성체, 도료, 접착제, 탄성섬유 및 합성피혁 등에 이용되고 있다.²²

본 연구는 페타이어를 이용한 탄성 투수성 콘크리트 포장재²¹의 성능향상을 위하여, 통상 바인더로 이용되고 있는 일액형 습기경화형 우레탄 접착제를 합성하고 다른 첨가물을 동원하여 포장재의 물성과 접착력 향상을 목적으로 하였다. 접착제 합성법은 전구체(prepolymer) 합성법을 따랐다. 전구체 합성법은 이소시아네이트와 폴리올을 먼저 반응기에서 반응시킨 후 사슬연장제(chain extender)를 투입하여 고분자량의 폴리우레탄을 합성하는 방법으로 우레탄 접착제를 합성하는 경우 대부분이 이 방법을 사용하고 있다.²³

II. 실험

1. 재 료

본 연구에서 PU를 합성할 때 사용한 이소시아네이트는 TDI80(동양화학)이었고, polyol(Table 1 참조)은 ether계열(한국Polyol)과 ester계열(화인케미칼)

Table 1. Types of Polyols Used

Polyol type		Mw (g/mol)	Functionality
Polyether	PPG-1000	1,000	2
	PPG-2000	2,000	2
	PPG-3000	3,000	2
	GP-3000	3,000	3
	FA-702	5,600	3.6~4.0
	FA-703	5,100	2.7~3.2
	HD-401	300~500	2.85
	HD-402	300~600	3.25
Polyester	PTMG	2,000	2
	EB-86T	2,040	2

을 사용하였으며, 사슬연장제로는 1,3-butanediol을, 촉매로는 유기금속계 dibutyl tin dilaurate를 사용하였다. 용매로는 methyl ethyl ketone을 사용하였고, 첨가제로는 carbon black (HI-Black 10, 한국C/B주식회사), calcium carbonate(삼전순약), UV안정제 (JF-77, 한라케미칼)를 사용하였다. 또 중합과정에서 NCO%를 측정하기 위해서 isopropanol(삼전순약), 메틸 오렌지(삼전 순약), HCl(36%, 삼전순약), di-N-butylamine (Kanto Chemical. Co., Ltd.), brome phenol blue(Kanto Chemical. Co., Ltd.)를 사용하였다.

2. PU 중합

반응은 온도 70 °C에서 질소를 투입시키면서 300 rpm으로 교반(stirring)하며 반응시켰다. 먼저 디이소시아네이트와 폴리올을 반응시킨 후 사슬연장제와 반응시키는 순서로 중합하였다. 먼저 4구 플라스크에 TDI를 투입하고 heating mantle을 이용하여 50 °C ~ 80 °C로 예열한다. 예열이 되면 폴리올을 투입하는데, 반응성과 분자량에 따라서 전량 또는 분할하여 투입하였다. 분자량이 낮고 반응성이 매우 높은 경우는 dropping을 하였다.

중합을 하기 전에 식(1)을 이용하여 임의의 NCO%에 따른 TDI와 polyol의 투입량을 계산하였다. 본 실험에서는 당량비에 따른 투입량 계산이 아닌, NCO%에 따른 투입량을 계산하여 중합하였다.^{3,12}

$$NCO\% = \frac{4200 \times f(x) \times \left(\frac{x}{Mw_x}\right) - 4200 \times f(y) \times \left(\frac{y}{Mw_y}\right)}{x + y} \tag{1}$$

x: weight of isocyanate, *y*: weight of polyol
Mw_x: molecular weight of isocyanate
Mw_y: molecular weight of polyol
f: functionality(*x* & *y*)

Table 2에 polyol 종류에 따른 조성을 나타내었다.

A-1부터 A-12까지의 합성 PU는 최종 NCO%를 5%로 하여 합성하였고, A-1부터 A-5까지는 1,3-butanediol (BG)을, A-6부터 A-8까지 그리고 A-12는 HD-401를, A-9부터 A-11까지는 HD-402를 사슬연장제로 사용하였다.

3. 분자량 측정

분자량과 분자량 분포를 통해서 물성을 예측하기 위하여, GPC(gel permeation chromatography)를 사용하여 분자량과 분자량 분포를 측정하였다. GPC는 Waters사에서 제작한 기기를 사용하였으며, column은 세 가지(HR4, HR2, HR1)이고, 농도는 0.2 wt%, flow rate는 1 ml/min, 용매는 THF를 사용하였다.

4. 공시체 제조

압축강도 시험용 시료는 내부의 지름과 높이가

Table 2. Recipes of PU Synthesis

PU	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9	A-10	A-11	A-12
NCO%	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11
Isocyanate	TDI	TDI	TDI	TDI	TDI	TDI	TDI	TDI	TDI	TDI	TDI	TDI
Polyol	PPG	GP	PPG/GP	FA2	FA3	PPG	GP	PPG/GP	PPG	GP	PPG/GP	PPG/GP/EB
NCO% after chain extender charged	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Chain extender	BG	BG	BG	BG	BG	HD	HD	HD	HD	HD	HD	HD
Comment							thick			gel		

TDI: TDI80, PPG: PPG3000, GP: GP3000, FA2: FA-702, FA3: FA-703, EB: EB86T, BG: 1,3-BG, HD: HD-401

각각 5 cm, 10 cm인 원통형 금형에 자갈표면에 예 폭시로 고무분말을 붙여서 준비된 고무자갈(긴 길이 약 1.5 cm)과 합성된 PU(고무자갈 무게의 8 wt%)의 혼합물을 부어넣고 압축기내에서 압력(100 kg/cm²)을 2분 동안 가한 후 24시간 상온경화 후 탈리하였다.²⁵

5. 압축강도

압축강도는 만능시험기(Lloyd Instrument, LR50K type)를 사용하여 KSF 2405²⁵ 방법에 의거 실시하였고 바인더와 첨가제의 함량에 따른 압축강도를 측정하였다. Crosshead speed는 10 mm/min이며 5개의 시편을 측정하여 평균값을 그 물질의 압축강도로 표시하였다.

6. 온도저항성

온도저항성 시험은 -20~50 °C까지 10 °C 단위로 압축강도를 측정, 비교하였다. 사용된 바인더의 열적성질은 열시차분석기(TA Instrument, DSC 2010)를 사용하여 -60~150 °C 범위에서 전이온도를 측정하였다.

TA Instrument 사의 DSC2910 Differential Scanning Calorimeter를 이용하여 유리전이온도(T_g)를 측정하였다. 측정 전 열이력을 제거하기 위하여 10 °C/min으로 150 °C까지 상승시킨 후 급냉한 후 측정하였다. 측정 시 상승온도는 10 °C/min, 측정온도 범위는 -50 °C~150 °C로 하였다.

7. 내수성 시험

에테르계 우레탄과 에스터계 우레탄의 가수분해 저항성을 측정하였다. 각각 5개의 시료를 제작하여 5, 10, 15, 20일간 침수시킨 후 꺼내어 30분간 상온에서 자연 탈수²⁶시킨 후 압축강도를 측정하여 내수성을 평가하였다.

8. 내후성 시험

중합한 우레탄 접착제에 한쪽은 UV안정제를 0.5 wt% 투입하고, 다른 한쪽은 첨가제(UV안정제)를 투입하지 않고, 각각의 시료를 5개씩 제작하여 1, 2, 3, 4, 5, 6개월 간 옥외에 방치하여 압축강도를

시험하여 내후성을 평가하였다.

9. 내온성 시험

각각의 시료를 5개씩 저온(-20 °C), 상온(25 °C), 고온(60 °C)에서 24시간 보관하여 그 온도에서의 압축강도를 시험하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

합성하는 데에 있어, 사슬연장제로 1,3-BG를 사용했을 때보다 HD-401, HD-402를 사용했을 때가 점도가 높았으며, A-10의 경우는 gelation되었다. 또한 A-12의 경우 ester계 polyol인 EB-86T를 8 wt% 첨가하였는데, 반응종료 후 상온에서 고상(solid)으로 변하였다. 이것은 ester계 polyol의 결정성에 기인한 것으로 추측된다.

1. 중합 PU접착제와의 물성

1.1 NCO%에 따른 물성

합성 PU는 A-1로 하여 NCO%를 2, 5, 10, 15%로 합성하여 압축강도를 측정하였다. 각각 49.6, 46.4, 40, 35 kgf/cm²의 값을 얻을 수 있었다. 분자량(M_w)은 15,800, 13,100, 13,000, 12,800 g/mol으로 조사되었다. 즉 NCO%가 높을수록 free NCO가 공기 중의 수분과 반응하여 우레아를 형성하는 비율이 늘어난다. NCO%가 낮으면 상대적으로 우레아보다 우레탄이 많이 형성되므로 더 강한 결합력을 갖게 된다. 또한 Figure 1에 나타난 바와 같이 NCO%가 낮을수록 분자량이 크므로 더 우수한 압축강도를 나타내었다고 생각된다.

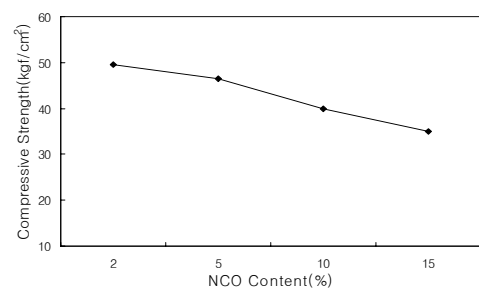


Figure 1. Dependence of compressive strength on NCO content.

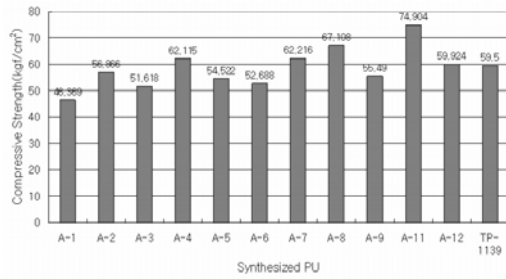


Figure 2. Dependence of compressive strength on synthesized PUs.

1.2 Polyol 종류에 따른 물성

중합 PU(A-1~A-12)를 사용한 시료의 측정된 압축강도를 Figure 2에 나타내었다.

조성 비교분석에서, 먼저, 사용한 사슬연장제가 같은 경우끼리 살펴보았다. 사슬연장제로 1,3-BG를 사용한 경우인 A-1과 A-2의 압축강도를 보면 A-2가 10 kgf/cm² 더 높다. A-1의 경우 functionality가 2이고 분자량이 3000 g/mol인 PPG-3000을 사용하였고, A-2의 경우 functionality가 3이고 분자량이 3000 g/mol인 GP-3000을 사용하였다. 또 A-4의 경우 functionality가 3.6~4.0이고 분자량이 5600 g/mol인 FA-702를 사용하였고, A-5의 경우 functionality가 2.7~3.2이고 분자량이 5100 g/mol인 FA-703을 사용하였다. 즉 분자량이 비슷한 값을 갖는 polyol의 경우 functionality가 강도를 좌우한다는 것을 알 수 있었다. Functionality가 비슷한 polyol을 사용한 A-2와 A-5의 경우를 보면, A-2의 압축강도가 2 kgf/cm² 높게 나타났다. 사슬연장제로 HD-401를 사용한 경우에서 PPG-3000을 사용한 A-6, GP-3000을 사용한 A-7, PPG-3000과 GP-3000을 1:1의 무게비로 투입한 경우를 비교해 보면, A-6보다 A-7이 높고, A-7보다 A-8이 높게 나타났다. 이것은 1,3-BG를 사슬연장제로 사용했을 때 A-1, A-2, A-3의 경우와 다른 결과이다. 또한 사슬연장제로 1,3-BG를 사용한 경우보다 HD-401를 사용했을 때가 압축강도가 높게 나타났고, HD-401를 사용했을 때보다 HD-402를 사용했을 때의 압축강도가 높게 나타났다. 이는 HD-401의 functionality가 2.85인데 반해 HD-402의 functionality가 3.25로 더 크기 때문에 더

많은 가교결합이 이루어진 것으로 생각된다.

A-8과 A-12의 경우는 ester계 polyol인 EB-86T를 8wt% 첨가하지 않은 경우와 첨가한 경우인데, 첨가하지 않은 A-8이 압축강도가 높게 나타났다. 이것은 ether계 polyol과 ester계 polyol의 상용성이 나쁘기 때문인 것으로 생각된다.

중합한 PU와 반월공단의 K회사에서 제조한 1억형 PU접착제(TP-1139)의 압축강도를 비교해 보면 몇몇(특히 A-11)은 높은 강도를 나타내었다.

1.3 분자량에 따른 물성

GPC를 이용하여 분자량과 분자량분포를 측정하고, polyol종류(A-1~A-11)에 따른 압축강도와 분자량 및 분자량분포와의 관계를 조사하였다.

분자량은 A-1이 6900 g/mol, A-2가 21700 g/mol, A-3이 12500 g/mol, A-4가 94400 g/mol, A-5가 19200 g/mol, A-6이 24400 g/mol, A-8이 23900 g/mol, A-9가 81400 g/mol, A-11이 37700 g/mol로 조사되었다. 분자량과 압축강도를 비교해 보면, 대부분 분자량이 높을수록 압축강도 또한 높게 측정되었다. 그러나 A-9와 A-11의 경우 A-9의 분자량이 훨씬 높지만, 압축강도는 각각 55.4 kgf/cm²와 74.9 kgf/cm²로 A-11이 월등히 높게 나타났다. 이것은 분자량 분포도를 보았을 때, 높은 분자량대의 영역이 A-9보다 A-11이 훨씬 넓은 것을 관찰할 수 있는데, 이러한 이유로 압축강도가 높게 나타난 것으로 생각되며, 또 분자량 분석 피크(peak)가 넓은(broad) 경우, 피크로 인식되지 않는 경우가 발생하여 A-11의 경우는 실질적인 분자량보다는 낮게 측정된 것으로 생각된다.

1.4 온도에 따른 압축강도

실험에서 온도에 따른 압축강도는 저온(-20 °C)에서 139.4 kgf/cm², 상온(20 °C)에서 74.67 kgf/cm², 고온(50 °C)에서 49.35 kgf/cm²로 측정되었다(Figure 3). 온도가 상승함에 따라서 압축강도가 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다. 고온(50 °C)에서의 압축강도는 상온(20 °C)에서의 압축강도의 60%정도 밖에 되지 않았다. 이는 폴리우레탄의 내재적인 문제(고온에 약함)에 기인한다 하겠다.²⁷ 온도에 따른 압축강도시험에서 -20 °C에서의 압축강도가 20 °C에서

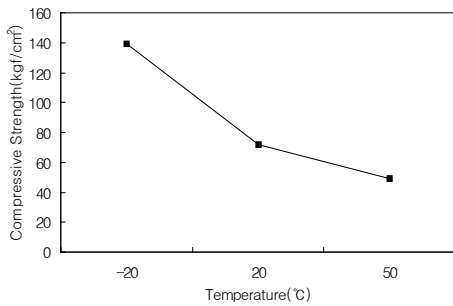


Figure 3. Dependence of compressive strength on temperature.

의 압축강도보다 2배정도 큰 것을 해석하기 위해서 DSC를 이용하여 유리전이온도를 측정하였다. 측정한 PU는 A-11로 온도에 따른 압축강도시험에 사용되었던 PU접착제를 경화시켜서 측정하였고, 그 결과 유리전이온도가 -25 °C 근처인 것을 알 수 있었다. 즉 유리전이온도에 가까워질수록 물질은 brittle해져 압축강도가 높아지는 것으로 생각된다.

1.5 Ether계열과 Ester계열에 따른 물성

본 실험에서는 ether계열(A-1)과 ester계열(EB86T) PU의 가수분해 저항성을 알아보았다. 시료를 제작하여 침수시키지 않은 경우와 비교하기 위해서 수일 동안 완전 침수시킨 후 30분간 상온건조 후 압축강도를 이용하여 내수성을 비교하였다. 측정한 압축강도를 Figure 4에 나타내었다.

침수시키지 않은 경우, ester계 PU가 ether계에 비해 압축강도가 25 kgf/cm² 높은 것으로 나타났

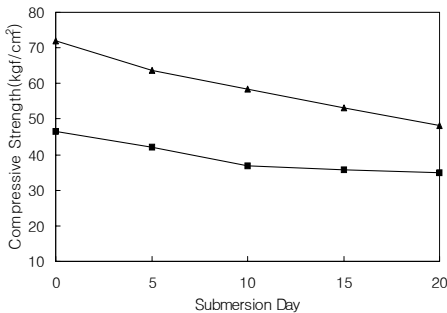


Figure 4. Dependence of compressive strength on submersion day.
▲: Ester based PU, ■: Ether based PU

다. 침수시킨 지 10일 후부터는 ester계 PU는 지속적인 감소를 보였으나, ether계 PU는 감소 폭이 현저하게 줄면서 유지되는 것으로 나타났다.

일반적으로 폴리에테르 폴리올은 주쇄 내에 에테르기(-O)가 포함되어 있기 때문에 취화(degradation)되기 쉬우며, 상대적으로 폴리에스터 폴리올은 주쇄 내에 에스테르기(-COO-)가 존재하므로 강인성을 부여한다.²² 이는 폴리에스터계 PU가 강도면에서 월등한 물성을 나타내는 이유이기도 하다. 그러나 폴리에스터계 PU는 물에 약하다.²³ 이런 점을 Figure 4는 보여주고 있다.

2. 첨가제와의 물성

2.1 UV안정제 첨가에 따른 물성

A-11을 base PU로 하여 UV안정제를 투입한 접착제와 투입하지 않은 접착제로 각각 5개씩의 압축강도용 시료를 제작하여 1, 2, 3, 4, 5, 6개월간 옥외에 방치하여 UV안정제의 효과와 우레탄접착제의 내후성을 조사하였다(Figure 5).

UV안정제를 첨가한 경우, 71.1, 67.8, 66.8, 61.9, 58.1, 36.5 kgf/cm²의 압축강도를 나타냈으며, 첨가하지 않은 경우, 70.5, 67.3, 63.2, 56.9, 44.1, 29.4 kgf/cm²의 압축강도를 나타냈다. 옥외 방치된 기간이 5개월이 지나면서 급격히 압축강도가 떨어지는 것을 알 수 있었으며, UV안정제가 첨가되지 않은 경우는 2개월 이후부터 첨가된 경우보다 감소폭이 더 크게 떨어지는 것으로 나타났다. UV안정제가 기대만큼 큰 효과를 보이지 못한 데에는 안정제가 덜 포함되어 있거나, 시료가 오랫동안 옥외 방치된

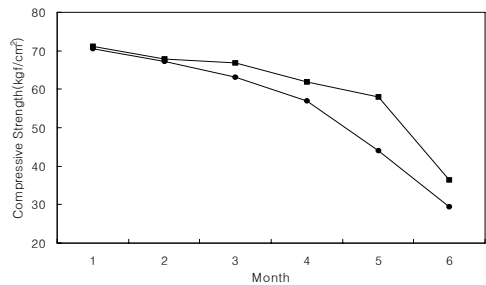


Figure 5. Effect of UV stabilizer(JF-77).
■: with UV stabilizer, ●: without UV stabilizer

고로 Figure 4에 나타나 있는 것처럼 비에 자주 맞아 약하여 쪼을 것으로 생각된다.

2.2 카본블랙 첨가에 따른 물성

카본블랙(CB)의 표면에 존재하는 관능기들은 그 수는 적지만 고무 및 플라스틱 같은 고분자물질과 결합력을 증대시켜 복합재료의 기계적 물성을 향상시키는 역할을 한다.²⁸

본 실험에서는 CB를 각각 10, 20, 30 wt%를 중합PU(A-11)에 투입하여 500 rpm으로 분산시킨 후 시료를 제작하여 압축강도를 측정하였다. 투입하지 않은 PU에 비해 CB를 첨가한 PU의 강도치가 높게 나타났으며, CB이 접착제의 20%를 투입하였을 때에 가장 높은 압축강도(90.8 kgf/cm²)를 얻을 수 있었고, 30%를 투입하였을 때는 오히려 강도가 떨어지는 것을 알 수 있었다(Figure 6). 이것은 CB이 20%를 초과하여 첨가하는 경우 이물질로 작용하기 때문인 것으로 생각된다. 즉 20% 정도까지는 접착제가 매트릭스로서의 역할을 하지만, 그 이상 투입되면 포화상태가 되면서 접착제 내에 CB이 더 이상 분산되지 못하고 서로 뭉쳐서 접착영역이 줄어들어 강도가 떨어지는 것으로 생각된다.

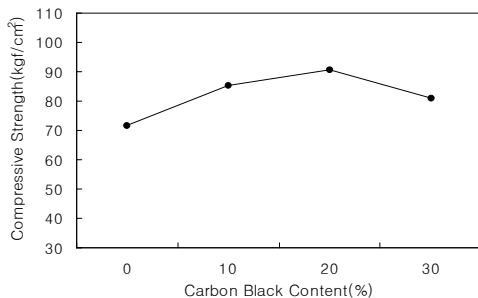


Figure 6. Dependence of compressive strength on carbon black content.

2.3 탄산칼슘 첨가에 따른 압축강도

탄산칼슘은 지구 표면에서 가장 많이 출토되는 광물질의 하나로서, 현재 플라스틱 공업(예를 들면, 페인트, 고무, 섬유, 접착제 등)에서 가장 많이 쓰이고 있는 첨가제 또는 확장제이다.²⁹

실험에서 탄산칼슘만을 투입한 시료에서는 강도 향상을 볼 수 없었다. 그러나 CB와 함께 투입된

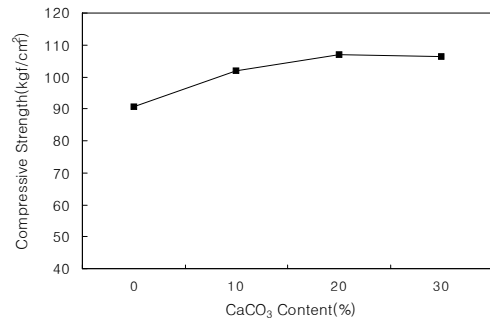


Figure 7. Dependence of compressive strength on calcium carbonate content.

시료에서는 동반상승효과를 나타내었다. Figure 7은 CB를 20 wt% 투입하고 거기에 다시 탄산칼슘을 10, 20, 30 wt% 첨가한 경우이다. 90.8 kgf/cm²에서부터 20%첨가한 경우 107 kgf/cm²로 상승곡선을 나타내었다. 탄산칼슘은 우레탄과는 이질성을 나타내나 CB가 투입되면 CB가 우레탄과 탄산칼슘에 우호적인 매트릭스를 형성하는 것으로 보인다.

IV. 결 론

본 기술은 종래의 페타이어분말을 이용한 투수성 콘크리트의 단점을 개선하고자 한 것으로서, 특히 우리나라와 같이 집중호우로 인한 침수현상이 빈발하는 상태에서는 투수 콘크리트 기술을 적용함으로써 도로 등에서 빗물의 저류 침투를 도와 배수불량과 도시형 하천의 범람을 막는데 유용하게 이용될 수 있다. 또한 본 기술은 배수성이 요구되는 자전거 도로나 보도의 포장을 비롯하여 자동차용 도로 등의 토목분야뿐만 아니라, 주차장이나 기타 주거시설 및 체육시설 등의 바닥재와 같은 건축분야에서도 다방면으로 적용이 가능하며, 나아가 식생용 콘크리트로서도 활용될 수 있다.

페타이어를 이용한 탄성 투수성 도로포장재에 사용될 고강도 PU 접착제의 개발을 목적으로 하고 있는 본 연구에서 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 적절한 NCO%를 찾기 위해서 NCO% 별로 압축강도시험을 한 결과, NCO%가 낮을수록(2%일 때) 높은 압축 강도를 나타내었다. 그러나 2%의

경우 점도가 매우 높아 피착물에 적심(wetting)이 용이하지 않았다. 따라서 NCO가 5%일 때가 가장 적절하다고 판단된다.

2. PU 합성방법으로 무용제형의 prepolymer 중합법을 이용하였고, polyol 종류에 따른 중합PU 중 HD-402를 사슬연장제로 사용하고, PPG-3000과 GP-3000을 무게비 1:1로 투입하여 중합한 경우에 가장 높은 압축강도(74.9 kgf/cm²)를 나타내었다. 이는 HD-402의 분자량이 300~600 g/mol로 낮고, functionality가 3.25로 높기 때문에 PU자체의 가교도를 높이는 데 기여한 것으로 생각된다.

3. 온도의존성 시험에서, -20 °C에서의 압축강도가 20 °C에서의 압축강도보다 2배정도 큰 것을 알 수 있었는데, 이는 PU의 유리전이온도(약 -25 °C)와 연관되었다.

4. 내수성 시험에서, 에스테르계 PU가 에테르계 PU보다 더 높은 내수성을 나타내었다. 그러나 시간이 지남에 따른 강도 저하는 에스테르계 PU가 더 급격하였다. 이는 에스테르계 PU의 가수분해성에 기인한다 하겠다. 에테르계 PU의 경우는 10일 이후부터는 거의 일정한 압축강도를 나타내었다.

5. 내후성 시험에서, UV안정제는 그리 큰 효과를 나타내지 못하였다. 옥외에서 비의 젖음에 의한 가수분해가 하나의 큰 이유로 여겨진다.

6. 첨가제의 투입을 통한 강도향상 시험에서, 카본블랙을 20 wt% 투입하고 거기에 탄산칼슘을 20 wt% 투입한 경우에 가장 큰 압축강도를 실현하였다. 탄산칼슘 자체만은 강도향상과 무관하였다.

참 고 문 헌

1. 조선일보 2007. 2. 22.
2. 한국환경자원공사 보고서, 2006.
3. 조하나, 김진국, “페타이어 재활용에 있어서 가공 조건의 영향”, *한국고무학회지*, **31**(3), 95 (1996).
4. W. Klingensmith and K. Baranwal, “Recycling of Rubbers: An Overview”, *Rubber World*, June, 41 (1998).
5. T. W. Yoo, B. K. Hong and J. H. Hong, “자동차용 고분자재료의 재활용 기술, *고분자 과학과 기술*”, **18**(3), 288 (2002).
6. J. G. Um, K. H. Chung and Y. K. Hong, “페타이어분말을 이용한 마찰재의 특성”, *엘라스토머*, **36**(1), 3 (2001).
7. K. H. Chung and Y. K. Hong, “Behavior of Rubber Concrete”, *J of Appl. Polym. Sci.*, **72**, 35 (1999).
8. 이석홍, “Laboratory Study of Rubber Modified Asphalt Paving Materials”, 박사학위논문, University of Akron, 1995.
9. 하재담, “A Study on the Field Application of Porous Concrete Pavement”, 한국콘크리트학회 춘계 학술발표회, 613, 1997.
10. J. Scheirs, “Polymer Recycling”, John Wiley & Sons, New York, 2002.
11. 일본특허공개 평8-295549
12. 일본특허공개 평8-20907
13. 일본특허공개 소54-33654
14. 일본특허공개 평9-119103
15. 일본특허공개 2000-24165
16. 일본특허공개 평10-60803
17. 일본특허공개 평10-102405
18. 일간건설신문, 2000. 5. 2.
19. 한국 특허공개 제95-25058
20. 일본 특허공개 소54-33654
21. 미국특허 제6103783
22. G. Oertel, “Polyurethane Handbook”, 2nd Ed, Carl Hanser Verlag · Munich Vienna, New York, 1994.
23. C. Hepburn, “Polyurethane Elastomers”, Elsevier Science, New York, 1992.
24. 한국고분자학회, “고분자 실험”, 자유아카데미, 1993.
25. KS F 2405, 콘크리트의 압축강도 시험 방법, 378, 1979.
26. 엄준길, 페타이어를 이용한 탄성투수성 도로포장재에 대한 연구, 석사논문, 1998.
27. J. H. Saunders and K. C. Frisch, “Polyurethanes :Chemistry and Technology”, Part I, Chemistry, 4th Ed., Wiley-Interscience, New York, 1979.
28. J. B. Donnet and A. Voet, “Carbon Black”, Marcel Dekker, New York, 1976.
29. H. S. Katz and J. V. Milewski, “Handbook of Fillers for Plastics”, Van Nostrand Reinhold, New York, 1997.