

지하 콘크리트 벽체용 미가황 합성고무시트 방수재의 물성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Physical Property of Non-Vulcanized Waterproofing Synthetic Rubber Sheet for the Underground Concrete Wall

최 은 수¹⁾

Choi, Eun Su

이 대 우²⁾

Lee, Dae Woo

서 상 교^{3)*}

Seo, Sang Kyo

Abstract

This paper study on the physical property of naturally vulcanizing waterproofing synthetic rubber sheet for the underground concrete wall. In order to finding the naturally vulcanizing time, the relation of vulcanizing time and tensile strength is analysed from non-vulcanizing to naturally vulcanizing time. Physical tests such as tensile strength, tear strength, etc., under the thermal environment temperature at -20°C , -10°C , 20°C , 60°C .

The result of experiment show that the developed rubber sheet has the delay time about 85 days and the curing time about 35 days. The tensile strength increased by about 692% and coefficient of expansion decreased by about 10% which value can be sufficiently compensate the demerit of vulcanized rubber sheet. Also, all of the physical properties of the naturally rubber sheet satisfy the KS standard and compare to the vulcanized rubber sheet, the developed naturally rubber sheet have excellent durability.

Keywords : Naturally vulcanizing, Waterproofing, Synthetic rubber, Delay time, Curing time, Tensile strength, Extension coefficient

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 필요성

도심 상업지구 등에서는 녹지의 확보와 건축물의 고층화에 따라 지하공간의 활용도가 높아지면서 지하공간의 규모가 점점 커지고 있다. 건축구조물 중 지하구조물은 상수위에 의한 지하수 영향을 지속적으로 받게 되므로, 구조체를 습윤 환경으로부터 보호할 근본적인 대책이 필요하다.

지하구조물 외방수공법 중 가황 합성고무시트 방수재는 인장강도와 신장률이 높고, 내구성이 우수한 장점이 있으나, 시공시 콘크리트 바탕면과의 접착불량, 시트간 접합부의 들뜸 등 시공상의 하자 발생률 높다. 반면에, 미가황 합성고무시트는 연질의 합성고무시트로서, 바탕면과의 접착성능 및 시트간의 접합성능이 우수하여 시공성이 좋은 장점이 있으나, 가황 합성고무시트 보다 인장강도가

매우 낮고 내구성이 저하되는 단점이 있다. 따라서 미가황 합성고무시트의 장점인 시공성과 가황 합성고무시트의 장점인 우수한 물성 및 내구성이 결합되어, 미가황상태로 시공된 후 상온에서 가황되어 가황 합성고무시트의 우수한 내구성을 발휘할 수 있는 미가황 합성고무시트 개발의 필요성이 증대되고 있다.

이에 본 연구에서는 미가황 합성고무시트의 가황시간을 고찰하고, 가황이 완료된 후 지속적인 가황으로 인한 합성고무시트의 열화, 보호모르타르와의 접착강도 등에 대한 물성 및 내구성을 평가하고, 그 결과를 분석·고찰하여, 실용적인 방수재를 개발하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

미가황 합성고무시트의 주요 특성인 가황시간을 인장강도 시험을 통하여 분석한다. 지하콘크리트 구조물에 대한 시공 전 및 시공 후 상태인, 미가황상태와 가황 직후의

1) 정회원, 한국건설생활환경시험연구원 선임연구원, 충북대학교 박사과정

2) 정회원, 명진케미칼(주) 대표이사

3) 정회원, 충북대학교 건축공학과 교수, 교신저자

* Corresponding author : skseo@chungbuk.ac.kr 043-216-2429

• 본 논문에 대한 토의를 2012년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2012년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

물성을 인장성능을 통하여 분석하고, 가황직후의 물성과 가황 1년 후의 물성을 고온에서의 인장강도와 저온에서의 신장률 및 상온에서의 인장성능, 가열신축성상, 신장시 열화성상, 내균열성 및 내피로성능을 통하여 분석한다. 또한 지속적인 가황과 이에 따른 합성고무시트의 열화에 대비하기 위하여 방수재의 내구성능을 분석하고, 합성고무시트와 보호모르타르의 부착성능을 평가하여 시멘트 모르타르의 방수 보호재로서의 적용성을 검토한다.

2. 미가황 합성고무시트 방수재의 특성

2.1 미가황 상태에서의 특성

가황되기 전 미가황상태에서의 합성고무는 경화하지 않은 매우 연질상태의 합성고무이다. 시공시 방수재가 유연하여 복잡한 부위도 정밀 시공이 가능하며, 시트와 시트간의 접합부를 일체형으로 시공하고, 방수시공이 완료된 후 서서히 가황고무로 전환되어 높은 인장강도, 인열강도 및 신장률을 발휘하게 된다. 미가황 시트에서 가황시트로의 가황에는 Fig. 1의 “황에 의한 가황방법”과 Fig. 4의 “가황촉진제에 의한 가황방법” 두 가지로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 이 두 가지 가황방법을 혼용하여 사용하였다.

Fig. 1과 같이 황은 S고리형 분자이지만 150°C의 열에서 S고리가 열려 사슬모양의 황으로 발달한다.

Fig. 1의 식에서 반응에 의해 변형된 황은 2가 라디칼로 되고 고무는 α-methylene의 수소를 끌어당김으로써 황만으로도 천연고무의 가황이 개시된다.

또한 Fig. 2와 같이 고무라디칼에 의한 황의 첨가 반응도 발생한다. 이와 같은 가황반응은 라디칼 연쇄반응으로 나타나며, 여기서 황은 고무분자간 가황반응과 같은 분자내에서의 가황반응이 동시에 발생한다.

접착성능에서 합성고무는 미가황상태의 높은 자착력으로 부착력이 증가된다. 합성고무의 가황 메커니즘이 시멘트의 경화 메커니즘과 흡사한점을 이용하여 합성고무와 시멘트의 경화반응이 같은 기간 내에 이루어지도록 함으

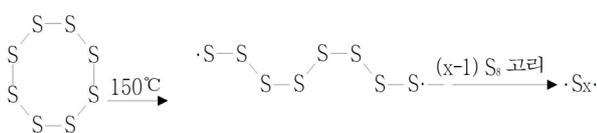


Fig. 1 Changes in the form of chain of sulfur

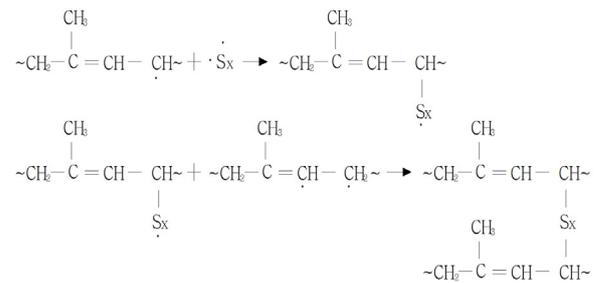


Fig. 2 Rubber for radical addition reactions of sulfur

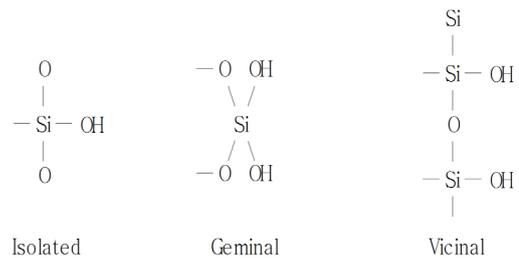


Fig. 3 Rubber and the reaction of silicates

로써, Fig. 3과 같이 고무와 C-S-H Gel의 실키케이트 및 무기물들이 미가교된 고무분자의 공간에 흡착하여 결합하게 된다. 따라서 시멘트 수화물과 화학결합력이 생성되어, 바탕콘크리트와의 접착성능 증가 및 구조체에서 발생하는 거동(수축팽창 및 균열 발생 등)에 추종하는 등, 미가황 합성고무시트가 가황시트로 전환되면서 가황고무의 물리적 특성을 발휘하여 우수한 방수효과를 기대할 수 있다.

2.2 가황 합성고무시트의 특성

고무는 가황상태로 변환되면서 많은 물리적 변화가 일어난다. 미가황고무가 가황고무로 전환되면서 나타나는 물리적 특성 변화를 Table 1에 나타내었다. 미가황고무는 유연성, 접착성, 신장율 등은 우수하지만, 인장강도, 인

Table 1 Vulcanized rubber physical properties change when converted

Non-vulcanized rubber → Vulcanized rubber			
Flexibility	High → Low	Tensile stress	Low → High
Thermoplasticity	High → Low	Hardness	Low → High
Adhesive property	High → Low	Aging	High → Low
Tensile strength	Low → High	Compression set	High → Low
Tear strength	Low → High	Elastic force	Low → High
Elongation	High → Low	Expansibility	High → Low

열강도, 경도(반발탄성) 등에서 취약하다는 것을 보여주고 있다. 반면에 가황고무는 인장강도, 인열강도, 경도, 반발탄성, 등의 물성은 우수하지만 유연성, 접착성 등의 물성이 저하되는 것을 알 수 있다.

이러한 가황고무의 특성으로 인하여 가황고무 방수시트는 재료적인 물성은 우수하지만, 바탕콘크리트와의 접착 및 시트와 시트의 연결 작업이 부실하여 시공하자가 발생하기 쉽다.

Fig. 4는 본 연구에 사용된 Thiuram계 촉진제 tetramethyl thiuram disulfide(TMTD)와 황의 반응식이다. TMTD의 경우 Thiazole계 dibenzothazyl disulfide(MBTS) 및 sulfenamide계 n-cyclohexyl benzothiazyl-2-sulfonamide

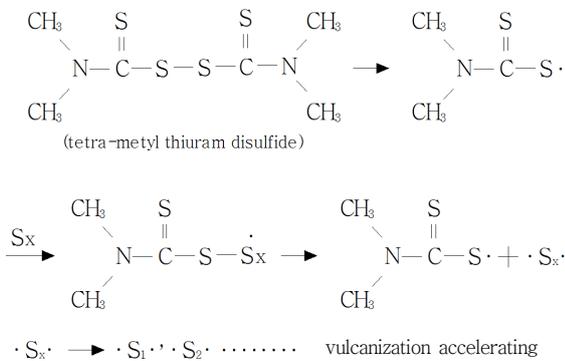


Fig. 4 Reaction of TMTD Accelerator and sulfur

(CBS) 촉진제보다 기계적 물성이 향상되며 빠른 가황속도를 얻을 수 있는 장점이 있다.

3. 실험

3.1 실험계획

미가황 합성고무시트의 상온가황 소요시간을 인장강도를 통하여 분석하고, 가황전 및 가황직후의 물성을 인장강도, 신장률 및 인열강도를 통하여 평가한다. 또한 가황 후 지속적인 가황에 의한 내구성을 분석하기 위하여 인장 성능과 온도변화에 따른 내구성 평가방법인 온도의존성 및 열화처리후의 성능을 가황직후와 가황 1년후의 시험체를 대상으로 비교분석하여 시간의 경과에 따른 방수재의 내구성을 분석한다. 실험 종류별 시험항목 및 시험방법을 Table 2에 나타내었다.

3.2 사용재료

고무는 사용 용도에 따라 배합 및 가공방법이 다르지만 모든 고무제품은 일정한 열과 압력을 가하여 가황(열과 압력에 의해서 고무가 성형되는 과정)하는 과정을 거쳐 제품화된다. 본 연구에서는 고무를 고열과 고압 대신에 가황제(황, 가황촉진제등)에 의한 가황 메커니즘을 갖도

Table 2 Test Item

Index	Test Item	Kinds of specimens		
		Non-vulcanization	Vulcanization	After vulcanization 1 years
Vulcanization time	Tensile strength-Intervals of 7 days	●	●	
	Tensile strength	●	●	
	Elongation	●	●	
Condition of rubber	Tear strength	●	●	
	Tensile strength 20℃		●	●
	Elongation 20℃		●	●
After vulcanization	Tear strength 20℃		●	●
	Tensile strength 60℃		●	●
	Elongation -20℃		●	●
	Heat treatment-Tensile strength		●	●
	Heat treatment-Elongation		●	●
	Heat dimensional change		●	●
	Deterioration test-Heat treatment		●	●
	Cracking Resistance		●	●
	Fatigue resistance		●	●
	Adhesive strength	Adhesive strength by tensile loading	Dry condition, Wet condition	
Adhesive strength by shear loading		Dry condition, Wet condition		

Table 3 Formulation of synthetic rubber sheet

Item	Materials	Unit Weight
(1) Polymer	synthetic rubber (BR, CR, IIR)	100.0
(2) Vulcanizing and curing agent	sulfur, accelerator	8.0
(3) Activators for accelerators	zinc oxide, Stearic acid	12.0
(4) Stabilizer	Antioxidant (3C, RD, SP)	5.5
(5) Tackifiers	Petroleum resin, Phenol resin	52.0
(6) Filler	Clay, Silica, Calcium carbonate, Carbon black	60.0
(7) Softener	Process oil	20.0
(8) The others	Pigment, vehichel,	-

록 하여 시트형태로 제조된 합성고무시트 방수재를 사용하며, 실험에 사용된 미가황 합성고무시트의 제조시 사용된 원재료의 배합은 Table 3과 같다.

주재료인 폴리머는 미가황 합성고무시트 방수재의 물리화학적 특성을 개선하기 위하여, 탄성과 마모저항성이 우수한 부타디엔고무(BR)와 내열, 내약품성이 우수한 클로로프렌고무(CR) 및 내후성이 우수한 부틸고무(IIR)를 혼합한 합성고무를 사용하며, 고열이나 고압을 가하지 않은 상온에서 가황이 진행되도록 가황제 및 가황조제를 첨가한다. 충전제는 바탕콘크리트 및 보호모르타르와의 접착성을 개선하기 위하여 실리카, 카본 등의 활성 충전제와, 점토와 탄산칼슘의 비활성 충전제를 사용한다.

3.3 시험체의 제작

시험체의 제작 및 가공은 KS M 6518 가황고무의 물리 시험방법에서 규정하는 아령형 3호형으로 시험체를 제작하여 KS F 4711 합성고무 방수시트에서 규정하는 미가황고무 및 가황고무의 시험방법에 따라 시험을 실시한다.

3.4 실험방법

3.4.1 가황시간 분석

미가황 합성고무시트의 가황과정은 delay time(반응지연기간), curing time(가교기간), overcure time(지속가교기간)으로 구분할 수 있으며, 가황이 진행되는 일반적인 경화곡선은 Fig. 5와 같다.

시험을 통한 가황의 진행 상태를 확인하기 위하여 미가황 합성고무시트의 제조 7일째부터 7일 간격으로 인장강

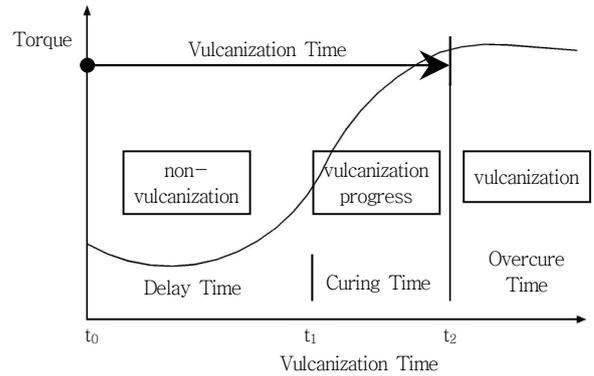


Fig. 5 Curve of curing

도를 길이방향과 나비방향으로 각각 측정하여 분석한다. 이때의 물성변화를 분석하기 위하여 가황 전과 가황 직후의 인장강도, 신장률 및 인열강도를 길이방향과 나비방향으로 각각 측정하여 분석한다.

가황에 따른 물성변화 실험시 미가황 상태에서의 시험은 시트의 제조 약 30일 후 시험을 실시하며, 가황상태에서의 시험은 가황시간을 측정한 결과를 토대로 하여 약 120일~150일 사이에 시험을 실시한다.

3.4.2 가황직후 및 가황 1년 후의 내구성능

(1) 온도의존성능시험

미가황 합성고무시트가 Curing Time(가교기간)을 지나 Overcure Time(지속가교기간)에서도 반응이 멈추지 않고 지속적으로 가황이 진행될 경우 고무의 빠른 열화에 의한 내구성저하가 발생할 수 있으므로, 가황직후와 가황 1년후 시험체의 상온($20 \pm 2^\circ\text{C}$) 인장강도, 신장률 및 인열강도, 고온($60 \pm 2^\circ\text{C}$) 인장강도, 저온($-20 \pm 2^\circ\text{C}$) 신장률을 측정하여 지속적인 가황의 진행상태를 분석한다.

(2) 가열 처리 후 인장성능시험

KS M 6518의 7.3(공기 가열 노화 시험)에 따라 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 168시간 동안 가열한 후 표준 상태에서 4시간 정치하여 상온($20 \pm 2^\circ\text{C}$)에서 시험을 실시한다.

(3) 가열 신축 정상시험

시험편을 표준상태에서 24시간 이상 정치하고 시험편의 길이를 중앙부에서 측정된 후 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 조절된 항온기에서 168 시간 수평으로 정치한다. 이어서 시험편을 꺼내어 표준 상태에 4시간 이상 정치한 후 시험편의 길이를 측정하여 최초의 길이에 대한 신축량(mm)을 계산한다.

(4) 신장시 열화 성장시험

시험용 지그를 사용하여 시험편의 눈금간 거리 20mm를 40mm로 당겨 유지하고 24시간 표준 상태에 정치한 후, 가열 항온기 내에 수직으로 거치하여 80±2℃에서 168시간 가열한다. 이어서 시험편을 붙인 지그를 꺼내어 표준 상태에서 4시간 이상 정치한 후 시험편을 지그에 부착한 채로 8배의 확대경으로 잔금의 유무를 관찰한다.

(5) 내균열성시험

40×40×160mm의 휨강도용 모르타르 바탕체 위에 미가황고무 방수시트를 붙인 후 양생한다. 양생이 끝난 시험체를 20℃, -10℃ 및 -20℃에서 24시간 정치 후 같은 온도 조건에서 시트를 부착된 면을 아래로 하여, 모르타르 바탕체에 0.2mm 폭의 균열이 발생할 때까지 1mm/min 속도로 재하하여 합성고무시트의 균열유무를 관찰한다.

(6) 내피로성능시험

KS L 5115에 규정하는 두께 6mm의 플렉 시블판을 나비 120mm, 길이 400mm로 절단하고 그 뒷면 중앙부에서 나비 방향으로 깊이 약 4mm로 절단한 바탕판에 합성고무시트를 붙인 후 7일간 상온 양생한다.

양생이 끝난 후 시험편이 손상되지 않도록 주의하면서 시험편 안쪽으로 하여 바탕판을 서서히 꺾어 바탕체에 균열을 발생 시킨다. 바탕면의 균열 부에 0.5~2.5mm의 확대, 축소를 2분에 1회의 비율로 200회 반복한 후, 바탕면의 균열 나비가 0.5mm가 되도록 한다. 다음에 바탕면의 균열 나비를 2.5mm로 확대한 상태에서 시험편의 표면을 육안으로 관찰하여 잔금, 찢김, 파단 유무를 관찰한다.

3.4.3 보호모르타르와의 부착성능

300×300mm 크기의 콘크리트 바탕체에 미가황 상태인 상온가황형 합성고무시트를 부착하고 즉시, 그 위에 20mm의 보호모르타르를 시공하여 28일간 상온상습 상태에서 양생한다. 양생이 끝난 시험체를 100×100mm 크기로 절단하여 인장접착강도 및 전단접착강도를 시험한다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 가황시간

미가황 합성고무시트의 제조 후 경과 시간별로 인장강도를 측정된 결과를 Table 4 및 Fig. 6에 나타내었다. 반

Table 4 Testing result of vulcanization time

Index		Tensile strength (N/cm ²)														
		7days	21days	35days	42days	49days	56days	63days	70days	77days	84days	91days	98days	105days	112days	119days
Testing result	Length	122	197	245	267	279	291	305	316	336	356	542	830	1000	1200	1450
	Width	113	180	226	251	258	271	283	289	299	313	526	804	976	1157	1421

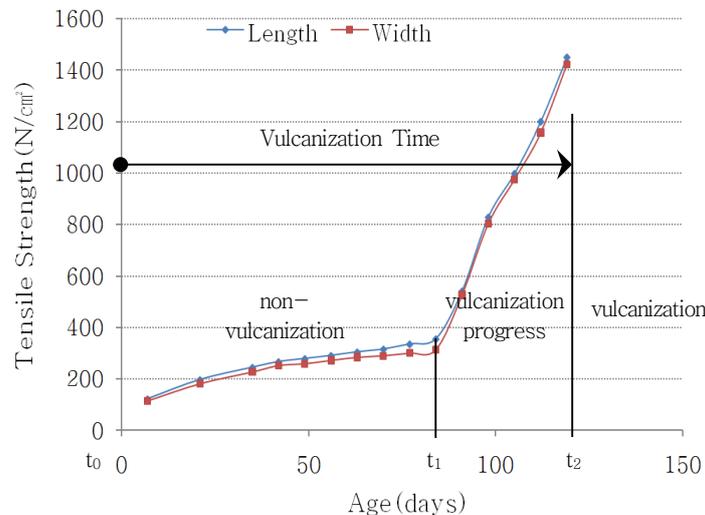


Fig. 6 Correlation with vulcanization time and tensile strength

응지연기간은 약 84일이고, 가교기간은 약 35일로 전체 가황기간은 목표에 근접한 약 120일 전후에 가황이 되는 것을 알 수 있다.

가황소요기간 약 120일을 가황반응 단계별로 구분하면 Table 5와 같이 개발단계에서 가황촉진제의 선택적 사용으로 예상할 수 있다.

본 연구에서 미가황고무로 시공한 후 가황고무로 상온에서 전환 되도록 제조한 이유는 고무의 상태 변화시 나타나는 물리적 특성을 적절히 이용하고자 한 것이다. 고무의 상태변화 전후의 물성 변화에 대한 시험결과는 Table 6과 같다.

Table 6의 미가황 고무와 가황고무에 관한 시험은 KS

Table 5 Vulcanization Time

Index	delay time (t ₁ -t ₀)	curing time (t ₂ -t ₁)	Vulcanization Time
Vulcanization Time	85±5 days	35±5 days	120±10 days

Table 6 Condition by physical properties test result of rubber (20±2°C)

Test items		Tensile strength (N/cm ²)		Elongation (%)		Tear strength (N/cm)	
		Length	Width	Length	Width	Length	Width
non-vulcanization	KS	More than 50		More than 450		More than 30	
	Test Result	270	201	684	714	101	103
vulcanization	KS	More than 750		More than 450		More than 230	
	Test Result	1722	1502	624	620	555	604

Table 7 Test result of elongation(-20±2°C)

Test item	Elongation(%)			Plain	
	Length	Width	KS	Length	Width
Immediately after vulcanizing	268	262	More than 200	616	614
1 year after cure	256	242		584	562

Table 8 Test result of Tensile property(20±2°C)

Test item	Tensile strength (N/cm ²)			Elongation (%)			Tear strength (N/cm)		
	Length	Width	KS	Length	Width	KS	Length	Width	KS
Immediately after vulcanizing	1768	1524	More than 750	616	614	More than 450	563	620	More than 230
1 year after cure	1796	1568		584	562		558	582	

Table 9 Test result of Tensile strength(60±2°C)

Test item	Tensile strength(N/cm ²)			Plain	
	Length	Width	KS	Length	Width
Immediately after vulcanizing	1688	1474	More than 230	1768	1524
1 year after cure	1746	1518		1796	1568

F 4911 품질기준에 의하여 시험한 시험결과로서, 가황상태 고무는 미가황상태 고무에 비해서 인장강도는 약 692%가 향상되고 인열강도는 약 10%가 감소하는 것으로 평가되어, 연질 상태에서의 미가황 고무에 대한 KS품질기준과 가황 후의 물리적 성능이 가황 고무에 대한 KS 품질기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다.

4.2 가황직후 및 가황 1년 후의 내구성능

4.2.1 온도의존성

온도의존성 시험결과를 Table 7, 8, 9에 나타내었다. 시험 온도 60±2°C 에서 가황직후의 고무시트와 가황 1년 후 고무시트의 인장강도는 전체적으로 무처리 보다 감소하는 경향을 보였으나, KS 품질기준 이상으로 나타났다. 또한 가황 직후 고무시트와 1년 정치 후 고무시트의 경우 -20±2°C의 매우 낮은 온도에서도 높은 신장률을 보이며, KS 품질기준에서 요구하는 성능보다 우수한 물

Table 10 Test result of heat treatment-Tensile strength

Test item	Tensile strength(N/cm ²)			Plain	
	Length	Width	KS	Length	Width
Immediately after vulcanizing	1622	1512	More then 80% of plain	1768	1524
1 year after cure	1616	1492		1796	1568

Table 11 Test result of heat treatment-Elongation

Test item	Elongation(N/cm)			Plain	
	Length	Width	KS	Length	Width
Immediately after vulcanizing	538	458	More then 70% of plain	616	614
1 year after cure	531	436		584	562

성을 갖고 있음을 확인하였다. 이는 주재료인 합성고무의 구성물질이며 내구성이 우수한 클로로프렌 고무(CR)에 의한 성능으로 판단된다. 클로로프렌 고무는 인장성능 등의 물리적 성능이 우수하며, 온도변화에 대한 영향이 적다. 또한 안정제(3C, RD, SP)의 첨가에 따른 온도변화에 대한 내구성능 보완으로 나타난 결과로 판단된다.

4.2.2 가열처리 후 인장성능

가열처리 후 인장성능 시험결과를 Table 10 및 11에 나타내었다. 가황직후의 인장강도는 1512~1622N/cm²로 측정되었으며, 가황 1년 후 시험체의 경우 1492~1616 N/cm²로 측정되어, 무처리 시험체 대비 약 90~99%로 KS품질기준에서 제시하는 80% 이상의 기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다. 또한 신장률 시험결과 가황직후의 시험체는 614~616%로 측정되었으며, 가황 1년 후의 시험체는 436~531%로 측정되어 무처리 시험체의 75~91%로 KS의 품질기준인 무처리 시험체 성능의 70% 이상을 만족하는 것으로 나타나, 가황직후 및 가황 1년 후의 시험체 모두 양호한 열적 안정성이 확보될 수 있는 것으로 판단된다. 따라서 여름철 고온에서의 시공 및 콘크리트의 온도가 상승되는 고온환경에 노출되었을 경우에도 안정적인 품질을 확보할 수 있을 것으로 판단되며, 이는 내열성이 우수한 BR 및 CR 등의 고무 주원료와 노화방지제 페닐이소프로필-피-페닐렌디아민(Phenylisopropyl-p-phenylenediamin)의 첨가로 인하여 합성고무 자체의 내구성을 보완하여 나타난 결과로 판단된다.

4.2.3 가열신축성상

가열신축성상 시험결과를 Table 12에 나타내었다. 가황 직후 합성고무시트의 경우 길이 방향 1.24mm 수축,

Table 12 Test result of heat dimensional change

Test item	Dimensional change(mm)		KS
	Length	Width	
Immediately after vulcanizing	-1.24	-1.18	Tension : Less the 2 Contracion : Less the 4
1 year after cure	-1.12	-1.08	

Table 13 Test result of Deterioration test(with strain)-Heat treatment

Test item	Deterioration test(with strain) - Heat treatment		KS
	Length	Width	
Immediately after vulcanizing	No cracks	No cracks	No cracks
1 year after cure	No cracks	No cracks	

나비 방향 1.18mm 수축하였고, 가황 1년 후 합성고무시트는 길이 방향 1.12mm 수축, 나비 방향 1.08mm 수축하였다. 가황직후 및 가황 1년후 모두 KS에서 제시하는 품질기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 시공 중, 시공 후 및 고온환경이 지속적으로 발생하는 구조물에 사용될 경우에도 안정적인 품질을 확보할 수 있을 것으로 판단되며, 이는 내구성이 우수한 합성고무와 안정제에 첨가된 트리메틸 디하이드로퀴놀린 중합체(Polymerized trimethyl dihydroquinoline) 및 스티렌 페놀(Styrenated phenol)의 효과로 가열에 대한 내구성능의 증진효과로 판단된다.

4.2.4 신장시 열화성상

신장시 열화성상의 시험결과를 Table 13에 나타내었다. 가황직후 및 가황 1년 후 시험체 모두에서 갈라짐이나 잔금이 발생하지 않은 것으로 측정되어 모든 시험체가

Table 14 Test result of cracking resistance

Test item	Cracking resistance		
	20℃	-10℃	-20℃
Immediately after vulcanizing	No cracks	No cracks	No cracks
1 year after cure	No cracks	No cracks	No cracks

Table 15 Test result of fatigue resistance

Test item	Fatigue resistance		
	60℃	20℃	-20℃
Immediately after vulcanizing	Passed	Passed	Passed
1 year after cure	Passed	Passed	Passed

KS품질기준을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 고온 환경에서 구조물의 거동 등에 의한 균열 발생시에도 안정적인 품질을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 합성고무로 사용된 내후성이 우수한 부타디엔고무(BR), 내후성, 열노화성이 우수한 클로로프렌고무(CR) 및 탄성, 접착성이 우수한 부틸고무(IIR)를 혼합한 합성고무의 사용과 비활성 충전재의 적절한 사용으로 나타난 효과로 판단된다.

4.2.5 내균열성

가황직후 및 가황 1년 후 시험체에 대하여 20℃, -10℃ 및 -20℃에서 내균열성능을 시험한 결과를 Table 14에 나타내었다. 시험결과 모든 시험조건에서 파단되지 않고 균열 또한 발생하지 않은 것으로 측정되었다. 이는 시간이 경과한 후 콘크리트 구조물의 균열에 의한 방수층의 직접적 파단을 일정부분 방지할 수 있는 것으로 판단된다. 이는 합성고무의 주 재료인 부틸고무(IIR) 및 연화제(Process Oil)의 첨가로 인하여 신장률이 안정적으로 확보되어 나타나는 효과로 판단된다.

4.2.6 내피로성능

내피로성능 시험결과를 Table 15에 나타내었다. 가황직후 및 가황 1년 후 제품 모두 표면에 잔갈림이나 찢겨짐 등의 현상이 발생하지 않은 것으로 측정되었다. 이는 방수층의 바탕에 반복적으로 작용하는 진동, 열에 의한 수축팽창 등으로부터 반복적으로 피로응력이 발생할 경우에도 효과적인 방수성능을 확보할 수 있을 것으로 판단되며, 이는 기존 고무시트 보다 충전재를 약 50% 줄이고, 상대적으로 연질인 고무의 배합량을 약 100% 증가하여, 반복적인 수축 팽창에 대한 내피로성능이 안정적으로 확보

Table 16 Test result of adhesive strength

Test item	Adhesive strength by tensile loading(N/mm ²)	Adhesive strength by shear loading(N/mm ²)
Dry condition	0.77	0.34
Wet condition	0.65	0.29

보되어 발생하는 효과로 판단된다.

4.3 보호모르타르와의 접착성능

인장접착강도 및 전단접착강도 시험결과를 Table 16에 나타내었다. 기건바탕에 시공된 방수층 및 보호모르타르층의 인장접착강도는 0.77N/mm², 전단접착강도는 0.34 N/mm²로 측정되었다. 또한 습윤바탕에 시공된 방수층 및 보호모르타르층의 인장접착강도는 0.65N/mm², 전단 접착강도는 0.29N/mm²로 나타났다.

일반적인 합성고무시트의 인장접착강도인 0.1~0.3N/mm²보다 높게 측정되어 미가황 합성고무시트에 모르타르가 양호한 상태로 부착되고 있는 것으로 판단된다. 또한 망치로 시험체를 타격할 경우 방수층의 충격 흡수로 인하여 보호모르타르 층이 파손되지 않는 것으로 나타났다. 이는 미가황 상태의 합성고무시트에 보호모르타르가 시공될 경우 미가황고무층의 실리케이트(Silicates)와 시멘트 모르타르의 수화반응에 의하여 화학적 결합이 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결론

상온가황에 따른 가황기간의 측정과 가황직후 및 가황 1년 후의 물성, 내구성 및 보호모르타르와의 접착성능을 평가한 결과, 본 연구의 범위 내에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 인장강도를 통한 가황시간 실험결과 약 85일의 Delay Time(가황지연 시간)과 약 35일의 Curing Time(가황진행 시간)으로 약 120일의 가황 기간을 갖고 있는 것으로 나타났으며, 이때 물성의 변화는 미가황 상태 및 가황상태 모두 관련 KS기준을 만족하는 것으로 나타났다. 특히 가황상태에서는 미가황 상태에 비하여 인장강도는 약 692%가 증가하고 신장률은 약 10%가 감소하는 것으로 나타났다.
- (2) 가열처리 후의 인장성능 시험결과, 인장강도의 경

- 우 무처리 시험체 대비 약 90~99%로 나타나, KS 품질기준인 표준상태 시험결과와 80%이상을 만족시키고 있는 것으로 나타났으며, 신장률은 무처리 시험체의 약 75~91%로 KS의 품질기준인 무처리의 70% 이상을 만족시키고 있는 것으로 나타났다.
- (3) 가황직후와 가황 1년 후의 인장강도, 신장률 및 인열강도를 비교시험 한 결과, 가황직후 및 가황 1년 후 모두 관련 KS품질기준을 만족하며, 특히 가황 1년 후에도 가황 직후와 비슷한 성능이 측정되어 Overcure(가황 후 기간)시에도 물성의 변화가 적어 안정적인 내구성능을 확보하고 있는 것으로 나타났다.
 - (4) 온도의존성 시험결과 온도 $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 가황직후와 가황 1년 후의 인장강도는 가열에 따른 연성의 증가로 상온에서보다 다소 감소하는 경향을 보였으나, KS품질기준 이상으로 나타났으며, $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서의 신장률 시험결과 KS품질기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다.
 - (5) 가열신축성상 시험결과, 가황 직후 합성고무시트는 경우 길이 방향 1.24mm 수축, 너비 방향 1.18mm 수축하였고, 1년 정치 후 합성고무시트는 길이 방향 1.12mm 수축, 너비 방향 1.08mm 수축하였다. 가황직후 및 가황 1년후 모두 KS에서 제시하는 품질기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다.
 - (6) 신장시의 열화성상 시험결과, 가황직후 및 가황 1년 후 시험체 모두에서 갈라짐이나 잔금이 발생하지 않았으며, 모든 시험체에서 KS품질기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다.
 - (7) 가황직후 및 가황 1년 후 시험체에 대하여 20°C , -10°C 및 -20°C 에서 내균열성능을 시험한 결과 모든 조건에서 파단되지 않고 균열 또한 발생하지 않은 것으로 나타났다.
 - (8) 내피로성능 시험결과 가황직후 및 가황 1년 후 제품 모두의 표면에서 잔갈림이나 찢겨짐 등의 현상이 발생하지 않고 있는 것으로 나타났다.
 - (9) 인장접착강도 및 전단접착강도 시험결과 인장전단접착강도는 바탕체의 흡습상태에 따라 $0.65\sim 0.77\text{N/mm}^2$ 로 나타났으며, 전단접착강도는 바탕체의 흡습조건에 따라 $0.29\sim 0.34\text{N/mm}^2$ 로 나타났다.

이상의 결과를 종합적으로 고려하여 보면, 미가황 합성

고무시트가 시공시 미가황 합성고무시트의 특성인 시공의 편리성 및 시공 후의 상온가황 현상에 의해 합성고무시트의 내구성이 증대되는 것으로 나타났으며, 이는 방수재에 첨가된 가황제 및 가황조제의 영향으로 상온에서 가황이 적절히 이루어지는 것으로 판단된다. 가황직후 및 가황 1년 후의 미가황 합성고무시트에 다양한 구조적 열화요인을 대상으로 시험한 결과 가황 직후의 시험체와 동일한 수준의 내구성능을 나타내고 있는 것으로 나타났으며, 이는 합성고무로써 기계적 물성이 우수한 부타디엔고무, 내열, 내약품성이 우수한 클로로프렌고무, 내후성이 우수한 부틸고무를 적절히 혼합사용하여 나타난 것으로 판단된다. 또한 미가황 상태에서 시공되어진 후 보호모르타르의 시공시 합성고무시트에 첨가된 활성 필러인 실리카이트와 보호모르타르 사이에는 시멘트의 수화작용에 의하여 우수한 부착성능을 발휘하는 것으로 판단된다.

따라서 본 미가황 합성고무시트 방수재는 내구성을 요구하는 대규모 건설구조물의 지하 외방수에 적용할 경우, 유지보수비용의 절감과 콘크리트 구조체에 대한 신뢰성이 증대될 것으로 판단되며, 보다 장기적인 내구성능의 확보를 위하여서는 도양 및 지하수의 화학적 성질에 따른 다양한 화학저항성 평가를 실시하여야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 충북대학교 학술연구지원 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다. 또한 명진케미칼(주)로부터 재료 및 실험에 많은 도움을 받았으며, 지면을 통해 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 강효진, 송제영, 권시원, 오상근, “일체부착형 합성고분자 시트를 이용한 지하구조물 방수 성능향상에 관한 실험적 연구”, 한국건축시공학회 논문집, 제5권 3호, 2005, pp.125-129.
2. 서우일, 김수련, 박규성, 오상근, “접합부 수밀성 향상 시트를 이용한 복합방수 공법에 관한 연구”, 한국건축시공학회 학술발표회, 2004, pp.1-4.
3. 엄덕준, 오미현, 권시원, 박규성, 오상근, “구조체 균열 거동에 대한 방수층의 대응성 평가 방법 연구”, 대한건축학회 논문집-구조계, 제24권 2호, 2004, pp.475-478.
4. 위태환, 강효진, 오상근, “엠보싱 PVC 시트를 이용한 부분절연 블록형 옥상 비노출 복합방수공법 개발에 관한 연구”, 한국건축시공학회 학술발표회, 제3권 2호, 2003, pp.37-40.
5. 최은수, 최병주, 서상교, “지하 콘크리트 벽체용 자연가황 합성고무시트 방수재의 가황특성”, 대한건축학회충북지회 춘계 학술발표회, 제12권 1호, 2012, pp.103-106.

(접수일자 : 2012년 2월 26일)
(수정일자 : 2012년 3월 28일)
(심사완료일자 : 2012년 5월 24일)

요 지

본 연구는 콘크리트 지하구조물 외부에 적용하는 방수공법으로 120일 후 가황되도록 가황제, 가황조제 등을 첨가하여 배합제 조된 합성고무시트 방수재로써 약 85일의 delay time과 약 35일의 curing time을 가지며, 이때 인장강도는 약 692%가 증가하고, 신장률은 약 10% 감소하여, 일반시트의 시공시 단점을 미가황상태로 시공되어 보완하고, 상온에서 가황하여 내구성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 가황직후 및 가황 1년 후의 각종 열화요인에 대한 내구성을 평가한 결과 관련 품질기준을 만족하며, 미가황 상태에서의 합성고무 시트에 보호모르타르를 시공하여 접착성능을 평가한 결과 첨가된 실리케이트에 의하여 보호모르타르와 수화반응에 의한 양호한 부착성능이 확보되는 것으로 나타났다.

핵심 용어 : 미가황, 가황, 상온가황, 합성고무시트, 반응지연기간, 가교기간, 내구성
