

가속열 노화로 열화된 탄성받침 고무재료의 전단 특성(2): 합성고무

선창호¹, 김익현^{2*}

Shear Characteristics of Elastomeric Bearing Rubber Deteriorated by Accelerated Heat Aging(2): Chloroprene Rubber

Chang-Ho Sun¹, Ick-Hyun Kim^{2*}

Abstract: Elastomeric bearings composed of flexible rubber materials and steel reinforcement plates are widely used for seismic retrofit of bridges due to their excellent vertical stiffness and flexible lateral stiffness. Especially, it has the advantages of simple construction and low cost. Chloroprene rubber, a type of rubber material, has greater resistance to aging than natural rubber, but its performance is also degraded due to various deterioration factors. Although these aging characteristics are not reflected in the seismic design standards and seismic performance evaluation guidelines, it is reasonable to reflect this when related studies are accumulated. For chloroprene rubber, accelerated heat aging test was performed with variables of heating temperatures and exposure time to analyze shear characteristics. As aging progresses the maximum shear stress and shear strain decrease. Also, the shear stiffness is greatly increased at the same shear strain.

Keywords: Elastomeric bearing, Chloroprene rubber, aging (deterioration), Accelerated heat aging test, Shear characteristic

1. 서 론

내진설계가 적용되지 않은 기존 교량에서 가장 취약한 부위는 받침부이다. 기존 강제계열의 교량 받침은 매우 큰 수직강성을 지니고 있고, 자중과 같은 연직하중에 대하여 충분한 강도를 지니고 있지만 지진력과 같은 수평력을 저항하는데 충분한 강도를 지니고 있지 않다. 특히 받침을 코핑부에 고정하기 위한 앵커부에 대한 내진설계는 전혀 수행되지 않아서 설령 강제받침 본체가 충분한 내진성능을 가지고 있어도 앵커부가 취약하여 받침부가 내진성능을 확보하지 못하는 경우가 훨씬 많다.

최근에는 이러한 강제받침을 유연한 횡강성을 지닌 탄성받침으로 교체하여 교량의 내진성능을 확보하는 사례가 점차 늘어나고 있다. 탄성받침은 유연한 고무재료와 강제 보강판이 적층으로 구성되어 있어서 적절한 수직강성을 확보하고 수평방향으로는 매우 유연하게 거동하는 특성을 지닌다. 고무재료는 천연고무(Natural Rubber:NR), 합성고무(Chloroprene Rubber:CR)

또는 천연고무와 합성고무를 일정비율로 배합(Blending)한 혼합고무(NR+CR)가 사용된다.

탄성받침을 적용한 교량의 공용기간 중에는 다양한 물리적, 화학적, 환경적 요인으로 고무재료의 노화가 진행되며 이는 탄성받침의 초기 특성(성질)에 변화를 주게 된다. 고무재료의 성능저하는 열, 오존, 염소, 산성비, 반복하중, 자외선 등에 의한 노화로 인해 발생하며 여러 노화 요인 중 열(온도)에 의한 노화 현상이 가장 큰 것으로 보고되어 있다(Mott et al., 2001; Haosheng et al., 2005). 일본에서는 2011년 산리쿠 연안에서 발생한 동북대지진(규모9.0)으로 인한 고무받침의 손상 원인을 규명하기 위해 기존 고무받침과 신규 고무받침의 비교 성능실험에 대한 연구를 수행하였으며 고무재료의 노화로 인한 전단강성의 증가(고무받침에 작용하는 지진력의 증가)와 전단변형성능의 저하가 손상원인 중 하나로 발견되어 향후 노화 연구에 대한 중요성을 제시한 바 있다(Yoshikazu, 2011; Nobuo et al., 2013; Junichi et al., 2015).

우리나라의 현행 신설 교량 내진설계기준(KDS 24 17 10, 2016; KDS 24 17 11, 2021; KDS 24 17 12, 2018) 또는 기존 교량의 내진성능평가에 적용하는 요령(KISC, 2019)을 보면 이러한 탄성받침의 노화를 고려하고 있지 않다.

이 연구에서는 탄성받침용 합성고무를 가속열로 노화 촉진시켜 노화 정도에 따른 고무의 전단역학적 특성변화를 분석하였다.

¹정회원, 울산대학교 건설환경공학부 연구교수

²정회원, 울산대학교 건설환경공학부 교수

*Corresponding author: ickhyun@ulsan.ac.kr

Department of Civil and Environmental Engineering, 23-309, University of Ulsan, 93, Daehak-ro, Nam-gu, Ulsan, 44610, Republic of Korea

•본 논문에 대한 토의를 2022년 1월 31일까지 학회로 보내주시면 2022년 2월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2. 본 론

상시하중 상태에서 교량받침은 매우 큰 수직하중을 지지하고 있어서 압축상태에 놓여 있다. 지진 시 큰 수평하중이 작용하면 교량받침에는 전단력과 휨모멘트가 작용하지만 휨모멘트에 의한 인장력은 상시 압축력에 의해서 상쇄되어 전단력이 주요한 하중이 된다. 따라서 탄성받침의 전단특성은 교량의 성능에 매우 중요한 역할을 한다.

따라서, 노화에 따른 탄성받침용 합성고무(CR)의 전단 특성의 변화를 분석하기 위하여 전단시편을 제작하고 노화촉진시험을 수행하여 노화된 합성고무(CR)의 전단 응력-변형률을 분석하였다.

2.1 전단시험체 구성 및 노화촉진시험

KS F 4420에서는 탄성받침에 사용되는 탄성 중합체는 천연고무(NR) 또는 합성고무(CR)를 사용하고 전단탄성계수별 고무함량을 Table 1과 같이 규정하고 있다. 탄성받침에 사용되는 합성고무(CR)은 화학제품으로 클로로프렌 고무를 중합시킨 고무를 말하며 천연고무(NR)와 같이 하나의 고무원료로 적용하고 있다.

합성고무(CR) 전단시험체는 KS M ISO 1827에 따라 4개의 플레이트(Fig. 1의 1, 2)에 두께 4mm, 너비 25mm, 길이 25mm인 4개의 고무시편(Fig. 1의 4)이 이중 샌드위치 배열을 갖도

Table 1 Content composition ratio

Modulus of Shear	Composition Ratio		
	0.7 MPa	0.9 MPa	1.15 MPa
Natural	More than 60%	More than 55%	More than 50%
Chloroprene			

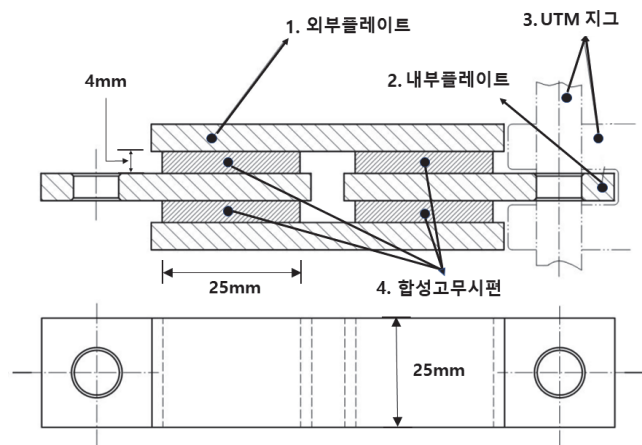


Fig. 1 Design of test specimen

Table 2 Accelerated Heat Aging Test

Rubber	Temperature	Aging(days)
Chloroprene	70°C	Fresh
		3
		7
		14
		28
		56
		84
		112
		140
		168

록 제작하였다. 모든 시험체는 Table 2와 같이 노화촉진온도(3가지)와 노출시간(10가지)을 변수로 하였으며 노화촉진온도 및 노출시간별 시험체 개수는 4개씩으로 총 120개의 시험체를 제작하였다.

KS M ISO 11346은 열-산화 노화에 의한 재료특성을 분석하기 위해서는 최소한 3가지 이상의 온도를 선택하고 노출시간에 대해서는 명확히 제시하고 있지는 않지만 충분한 특성이 나타날 수 있도록 적당한 노출시간을 정하도록 하고 있다. 따라서 이 연구에서는 노화촉진온도 변수를 70°C, 80°C, 90°C로 정하고, 노출시간은 Fresh(노화를 촉진하지 않은 시험체)를 포함하여 10단계로 결정하였다. 노화촉진시험은 KS M ISO 188에 따라 강제 공기 순환형 건조기 3개(70°C, 80°C, 90°C)를 이용하여 Table 2와 같이 3일~168일까지 노화촉진시험을 수행하였다.

2.2 전단성능시험

50kN 용량의 만능재료시험기(UTM)를 사용하여 하중-변위를 측정하였으며, 하중재하는 변위제어로 KS M ISO 1827에 따라 5mm/min의 재하속도로 시험체가 파단될 때까지 시험을 진행하였다. Fig. 2는 시험체 설치모습과 파단된 시험체 형상이다.

2.3 시험결과 및 분석



Fig. 2 Installation of specimen

Figs. 3~5는 합성고무(CR) 전단시편에 대해서 노화축진온도별(70℃, 80℃, 90℃)로 동일한 노출시간에 대해 4개 시험체의 하중-변위 데이터를 응력-변형률 곡선으로 각각 나타낸 것이다. 전단응력-변형률 관계곡선을 보면 천연고무(NR)와 유사(Sun and Kim, 2021)하게 동일한 노화조건의 시험체라도 최대응력과 최대응력시 변형률은 상당한 변동성을 보이지만 최대응력에 도달하기 전에는 큰 변동성을 나타내지 않는다. 고무재료의 파단 시 최대응력과 최대응력시 변형률은 변동성이 크기 때문에 실제 탄성받침은 고무종류와 무관하게 상시 전단변형률 70%, 지진시 전단변형률 150%를 적용하고 있으며 KS M ISO 1827에서는 전단탄성계수(G)를 25% 전단변형률에서 측정하도록 하고 있다.

Figs. 3~5의 전단응력-변형률 곡선을 분석해 보면 전체적인 경향으로는 노출온도가 높을수록 노출시간이 길수록 최대응력과 최대응력시 변형률이 줄어들고 있다. 다만, 노출시간 168일에 해당되는 Fig. 3(j)를 보면, Fig. 3(a)의 Fresh를 제외하고는 다른 노출시간에 비해 전단응력이 약간 크게 나타나는데 이는 전단변형률 300% 이상에서 발생하는 현상으로 시험체의 품질 편차에 의한 영향으로 판단된다.

전단응력-변형률 곡선을 천연고무(Sun and Kim, 2021)와 비교해 보면 합성고무(CR)가 천연고무(NR)에 비해 상대적으로 감소율이 작은 것을 알 수 있다. 즉, 합성고무(CR)가 천연고무(NR)에 비해 열-산화에 대한 노화에 내성이 큰 것으로 파악된다. 그리고 Fig. 5의 노화축진온도 90℃에 대한 전단응력-변형률 곡선을 보면, 노출시간 140일부터는 최대응력 이후로 소성거동이 일부 나타난다. 일반적으로 가황된 고무는 유황분자가 고무분자 사이에 결합되어 있는 형태인데 일부 소성거동의 원인은 노화심화에 따른 결합력의 저하로 발생하는 것으로 예측된다.

Tables 3~5는 합성고무(CR) 전단시편에 대해서 노출시간별로 최대응력(Ultimate Stress)과 최대응력시 변형률(Strain at Ultimate Stress)의 평균과 응력비(Stress Ratio) 및 변형률비(Strain Ratio)를 나타낸 것이다.

노화축진온도 70℃에서 이 연구에서의 최대 노출시간인 168일에서도 최대응력과 최대응력시 변형률은 Fresh 대비 각각 0.91, 0.82로 9%, 18% 밖에 감소하지 않았다. 80℃에서는 각각 18%, 16% 감소하여 70℃에 비해 저하가 크게 나타났지만 큰 폭의 저하는 아니다. 그러나, 90℃에서는 140일의 노출시간에서 0.34로 이미 Fresh 대비 50%이하로 저하되었으며 168일에서는 각각 71%, 66% 감소하여 급격한 역학적 성능 저하가 발생하였다. 동일한 노화축진 조건에서의 천연고무(NR)에 비해 노화가 상대적으로 작게 발생하여 합성고무가 열-산화 노화에 강한 것으로 나타났다(Sun and Kim, 2021).

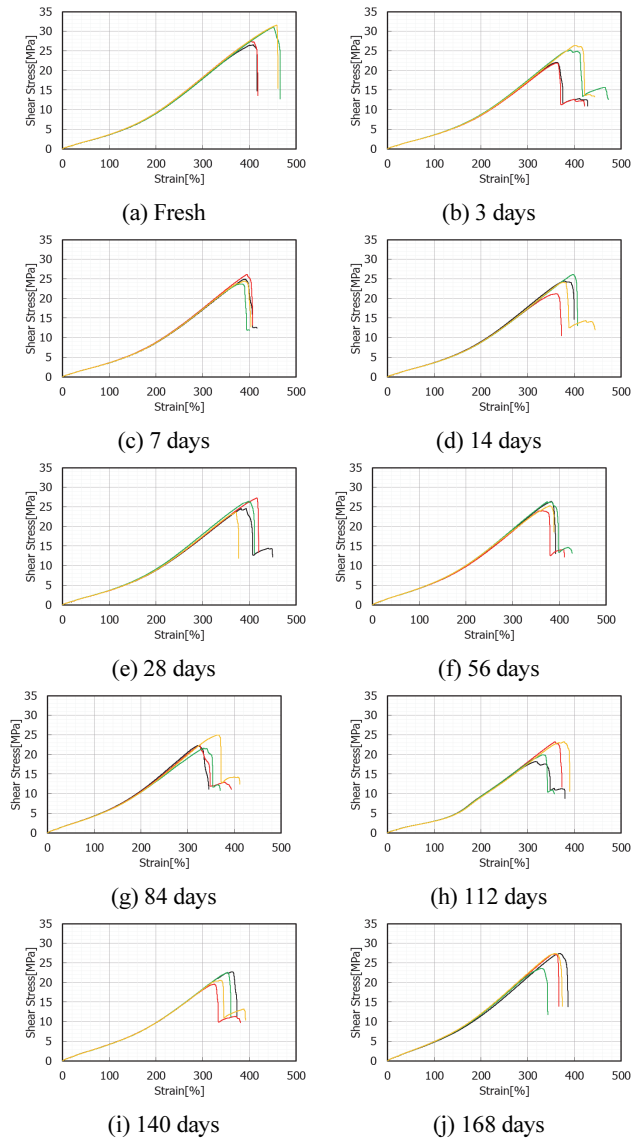


Fig. 3 Shear stress-strain curve of aged chloroprene rubber(70℃)

Table 3 Ultimate stress of aged chloroprene rubber(70℃)

Aging (days)	Average Ultimate Stress(MPa)	Stress Ratio	Average Strain at Ultimate Stress(%)	Strain Ratio
Fresh	29.16	1.00	430.25	1.00
3	23.88	0.82	379.56	0.88
7	24.80	0.85	389.19	0.90
14	23.99	0.82	377.50	0.88
28	25.50	0.87	391.84	0.91
56	25.51	0.87	374.94	0.87
84	22.79	0.78	336.50	0.78
112	21.17	0.73	346.32	0.80
140	21.36	0.73	344.78	0.80
168	26.43	0.91	353.13	0.82

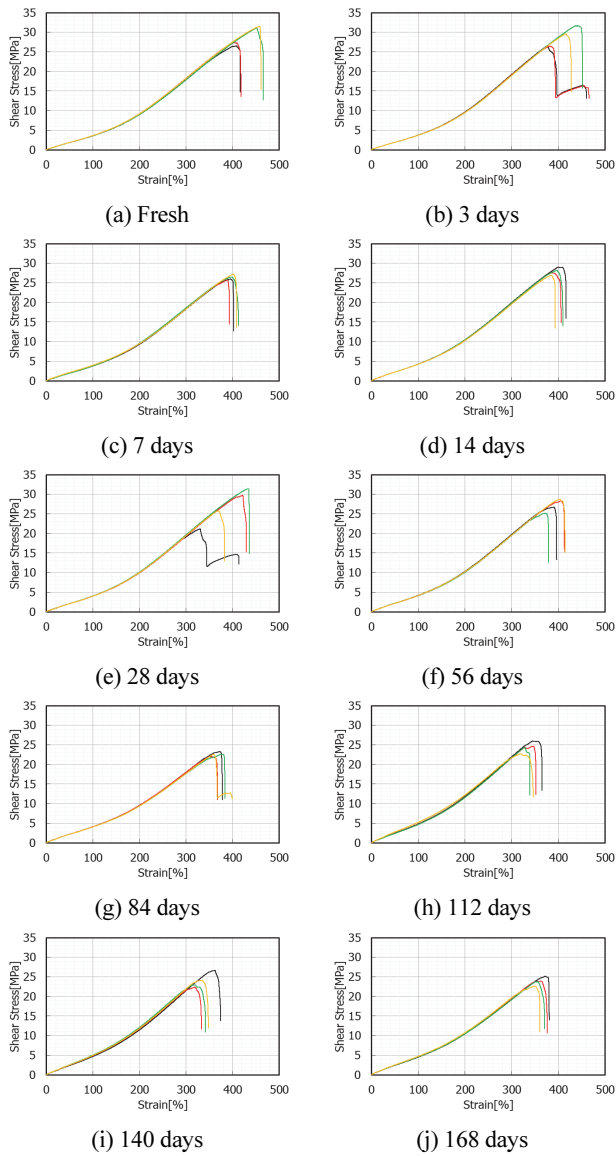


Fig. 4 Shear stress-strain curve of aged chloroprene rubber(80°C)

Table 4 Ultimate stress of aged chloroprene rubber(80°C)

Aging (days)	Average Ultimate Stress(MPa)	Stress Ratio	Average Strain at Ultimate Stress(%)	Strain Ratio
Fresh	29.16	1.00	430.25	1.00
3	28.56	0.98	402.50	0.94
7	26.34	0.90	395.25	0.92
14	27.96	0.96	391.78	0.91
28	26.99	0.93	389.00	0.90
56	27.23	0.93	392.72	0.91
84	22.64	0.78	365.16	0.85
112	24.99	0.86	339.38	0.79
140	24.03	0.82	332.41	0.77
168	23.90	0.82	359.91	0.84

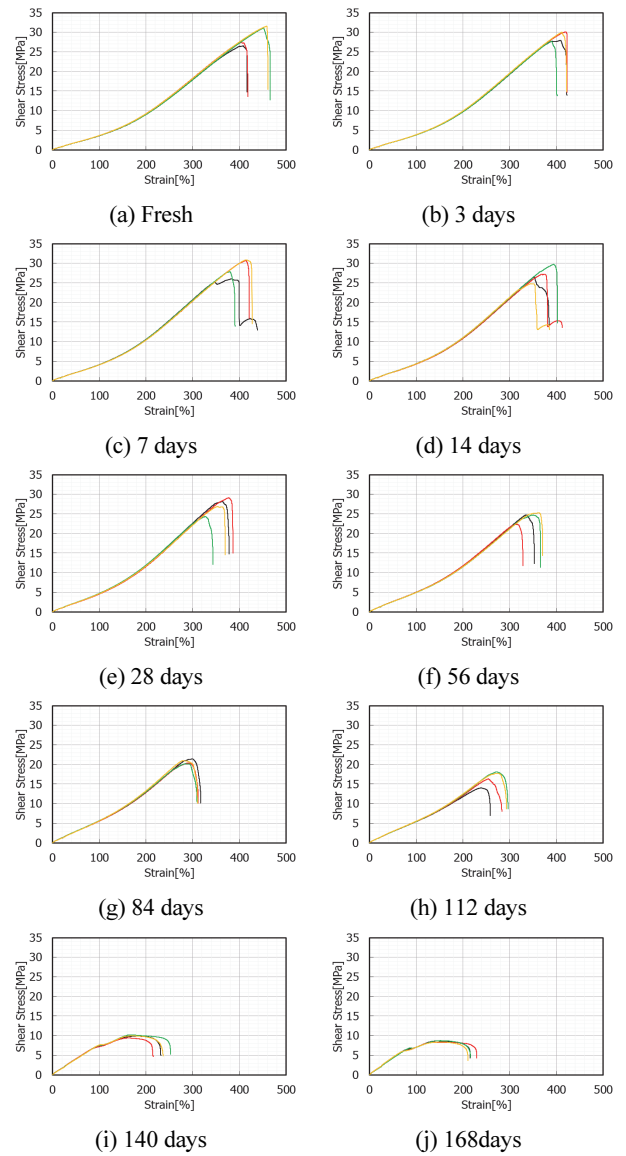
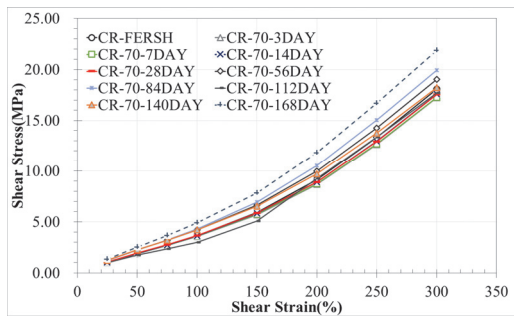


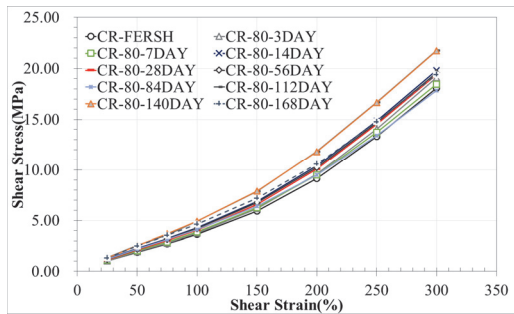
Fig. 5 Shear stress-strain curve of aged chloroprene rubber(90°C)

Table 5 Ultimate stress of aged chloroprene rubber(90°C)

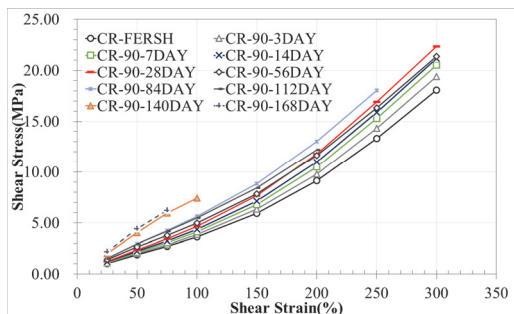
Aging (days)	Average Ultimate Stress(MPa)	Stress Ratio	Average Strain at Ultimate Stress(%)	Strain Ratio
Fresh	29.16	1.00	430.25	1.00
3	28.94	0.99	407.16	0.95
7	28.87	0.99	397.28	0.92
14	27.05	0.93	366.53	0.85
28	27.11	0.93	355.34	0.83
56	24.26	0.83	341.75	0.79
84	20.77	0.71	288.12	0.67
112	16.55	0.57	259.06	0.60
140	9.86	0.34	168.41	0.39
168	8.55	0.29	144.81	0.34



(a) Chloroprene Rubber(70°C)



(b) Chloroprene Rubber(80°C)



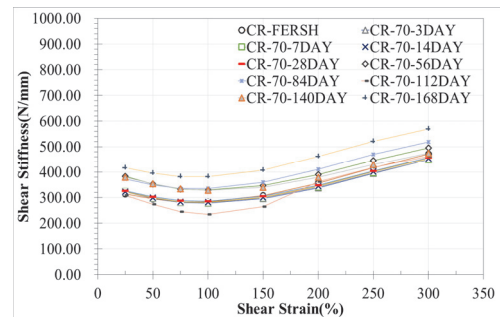
(c) Chloroprene Rubber(90°C)

Fig. 6 Shear stress-strain curve at different aging period

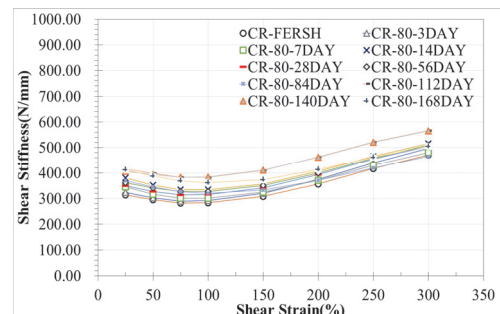
Fig. 6은 Figs. 3~5에서 변동성이 큰 최대응력 발생구간을 제외하고 전단변형률 25%, 50%, 75%, 100%, 150%, 200%, 250%, 300%에 대해서 노화축진온도별 노출시간에 따른 전단응력을 표시한 것이다. 일부 동일 변형률에서 노출시간에 상관없이 전단응력이 역전되는 현상도 있지만 전체적으로 동일 변형률에서 노출시간이 늘어날수록 전단응력이 증가하는 현상을 확인할 수 있으며 이는 합성고무재료가 노화에 의해 경화되고 있음을 의미한다. 그리고 천연고무(Sun and Kim, 2021)와는 다르게 노화축진온도 70°C와 80°C에서 168일 노출시간에 대해서도 전단변형률 300%까지 과단이 발생하지 않았다. 노화축진온도 90°C에서는 노출시간 56일까지는 전단변형률 300%까지 과단이 발생하지 않았다.

2.4 노화축진에 의한 강성변화

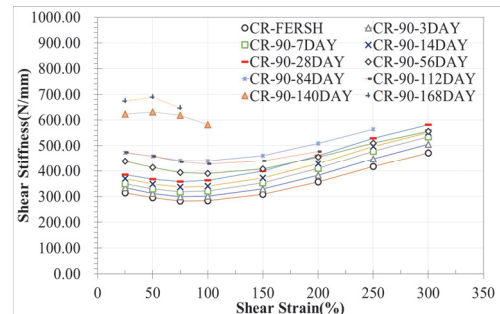
합성고무(CR) 전단시편에 대해 노화축진온도별(70°C, 8



(a) Chloroprene Rubber(70°C)



(b) Chloroprene Rubber(80°C)

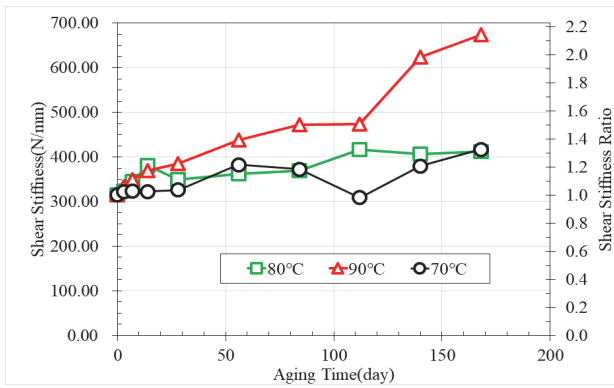


(c) Chloroprene Rubber(90°C)

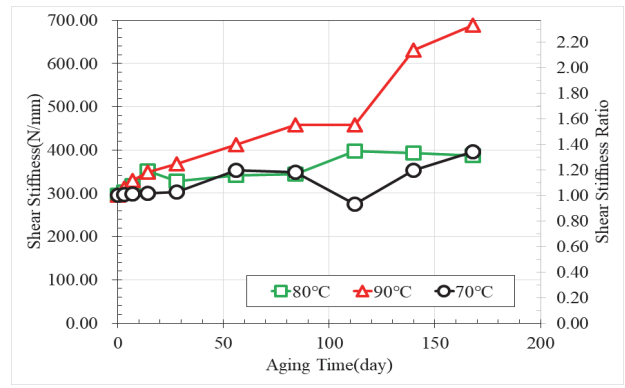
Fig. 7 Shear stiffness change at different aging period

0°C, 90°C) 노출시간에 따른 전단강성의 변화를 분석하였다. 전단강성은 천연고무(Sun and Kim, 2021)와 동일하게 하중-변위 곡선의 원점에서 전단변형률 25%, 50%, 75%, 100%, 150%, 200%, 250%, 300%에 해당되는 하중-변위의 직선 기울기로 계산하였다.

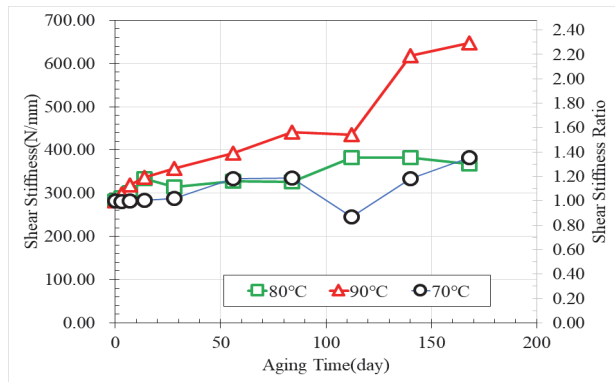
Fig. 7은 합성고무(CR) 전단시편 각각의 전단변형률에서 노출시간에 따른 전단강성 변화를 나타낸 것으로 일부 노출시간에 상관없이 역전되는 현상은 있으나 전체적으로 노출시간이 길수록 전단강성은 증가하며, 이는 천연고무(Sun and Kim, 2021)에 비해 상대적으로 증가량은 작으나 합성고무(CR)도 노화가 진행될수록 강성이 증가한다고 볼 수 있다. 일반적으로 대부분의 재료는 변형이 커질수록 강성이 줄어들지만 고무재료는 Fig. 7과 같이 전단변형률 75%~100%까지는 강성이 줄어들다가 전단변형률 75%~100% 이후부터는 다시 강성이 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 노화된 고무와 Fresh한 고무,



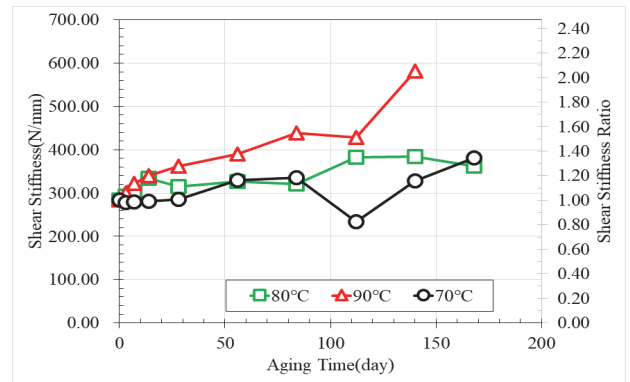
(a) Shear Stiffness at Strain 25%



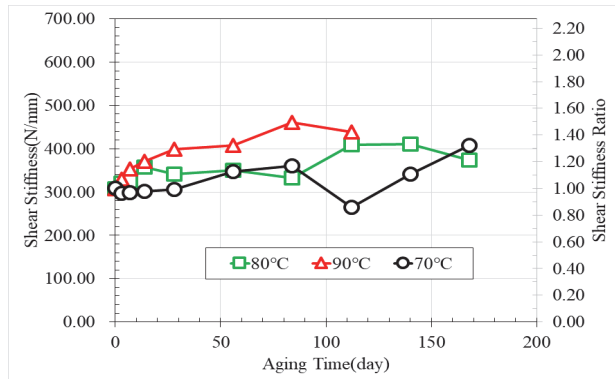
(b) Shear Stiffness at Strain 50%



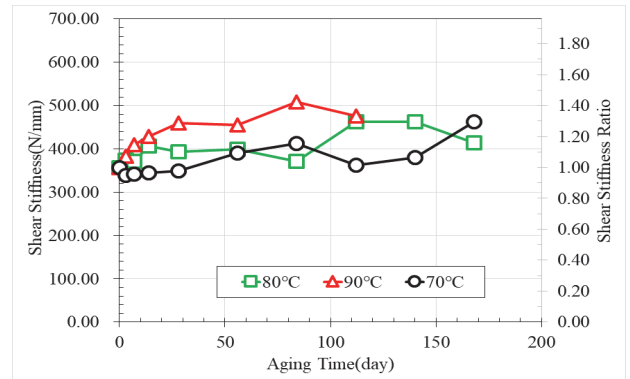
(c) Shear Stiffness at Strain 75%



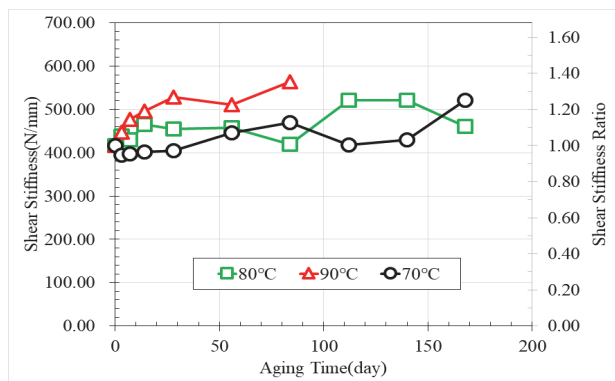
(d) Shear Stiffness at Strain 100%



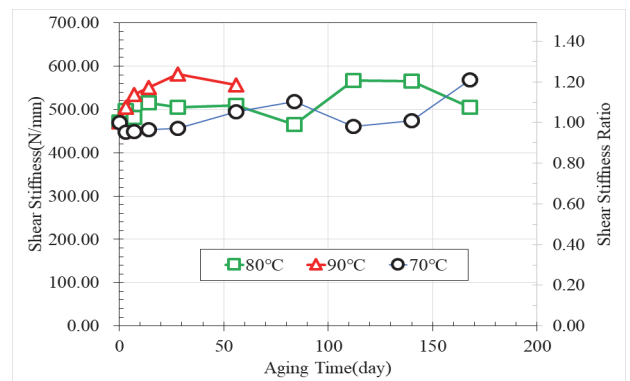
(e) Shear Stiffness at Strain 150%



(f) Shear Stiffness at Strain 200%



(g) Shear Stiffness at Strain 250%



(h) Shear Stiffness at Strain 300%

Fig. 8 Shear stiffness change at each strain level

천연고무(NR)와 합성고무(CR) 모두 동일한 현상으로 나타난다. 이러한 현상은 Fig. 6에서도 확인할 수 있다.

Fig. 8는 합성고무(CR) 전단시편에 대해서 각각의 전단변형률(25%, 50%, 75%, 100%, 150%, 200%, 250%, 300%) 단계에서 노출시간에 따른 전단강성(Shear Stiffness)과 Fresh 대비 강성비(Shear Stiffness Ratio)의 변화를 나타낸 것으로 노화축진온도가 높을수록 노출시간이 길수록 전체적으로 강성이 증가하는 것으로 나타났다. 노화축진온도 70°C와 80°C에 노출된 시험체에 비해 노화축진온도 90°C에 노출된 시험체는 노출시간이 길어질수록 파단이 빨리 발생하여 강성을 구할 수 없는 경우가 일부 있었다.

Table 6에서, 지진시 허용전단변형률인 150%에서의 전단강성을 분석해 보면 노출시간 112일째 Fresh 대비 전단강성비는 노화축진온도 70°C, 80°C, 90°C에서 각각 1.01배, 1.30배,

1.34배 증가하는 것으로 나타났다. 상시의 허용전단변형률인 75%에서의 노출시간 168일째 Fresh 대비 전단강성비는 노화축진온도 70°C, 80°C, 90°C에서 각각 1.35배, 1.30배, 2.29배 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 KS M ISO 1827에 따라 전단탄성계수를 산정할 때 적용하는 전단변형률인 25%에서의 노출시간 168일째 Fresh 대비 전단강성비는 노화축진온도 70°C, 80°C, 90°C에서 각각 1.33배, 1.31배, 2.14배 증가하는 것으로 나타났다.

이상에서와 같이 탄성받침의 고무재료의 하나인 합성고무는 천연고무(Sun and Kim, 2021)에 비해 상대적으로 노화에 대한 내성이 강하지만 노화가 진행될수록(노화축진온도와 노출시간이 증가) 전단강성이 증가하여 경화됨을 알 수 있다. 이는 탄성받침을 사용하여 교량을 장주기화하여 내진성능을 확보하는 측면에서 보면 고무재료의 경화(전단강성 증가)로 인해 교량의 내진성능이 점차 저하됨을 의미한다. 다만, 탄성받침은 순수하게 고무로만 형성되는 것이 아니고 고무와 강재 보강판이 적층으로 구성되기 때문에 탄성받침에서의 전단강성의 변화율은 이러한 고무재료의 전단탄성의 변화율 보다는 작을 것이라고 충분히 예측할 수 있다. 추후 고무재료와 동일한 노화조건에서의 탄성받침의 전단변형률 특성 변화에 관한 연구가 필요하다.

3. 결론

구조물의 내진성능을 향상하는 방법의 하나는 장주기화하는 것이다. 교량에서 탄성받침은 유연한 횡강성으로 이러한 기능을 제공한다. 탄성받침에 사용하는 합성고무는 천연고무에 비하여 노화에 대한 내성이 강하여 널리 사용되고 있다. 이 연구에서는 KS M ISO 1827에 따라 총 120개의 합성고무 시험체를 제작하여 고온의 노화축진온도(70°C, 80°C, 90°C)에서 노출시간(10단계)을 변수로 하여 KS M ISO 188에 따라 노화축진시험 수행하여 전단특성의 변화를 분석하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 노화축진온도가 높을수록 노출시간이 길수록 최대응력과 최대응력시 변형률이 크게 줄어들며, 노출강도가 큰 경우(노화축진온도 90°C, 노출시간 140일 이후)는 최대응력 이후로 소성거동이 일부 나타난다.
- (2) 이 연구의 최대 노출시간인 168일에서의 최대응력과 최대응력시 변형률을 Fresh와 비교하면, 70°C에는 각각 0.91, 0.82이며, 80°C에서는 각각 0.82, 0.84이며, 90°C에서는 각각 0.19, 0.34이다. 노화축진온도 90°C에서 급격한 역학적 성능 저하가 나타났다.
- (3) 지진시의 허용전단변형률인 150%에서의 전단강성비(노출시간 112일째 Fresh 대비)는 노화축진온도 70°C,

Table 6 Shear stiffness ratio of aged to fresh

Shear Strain ϵ (%)		25	50	75	100	150	200	250	300	
Aged	Fresh	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	70°C	3days	1.03	1.01	0.99	0.98	0.96	0.95	0.95	0.95
		7days	1.03	1.01	1.00	0.99	0.97	0.96	0.95	0.96
		14days	1.03	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.96
		28days	1.04	1.03	1.02	1.01	0.99	0.98	0.97	0.97
		56days	1.22	1.19	1.18	1.16	1.12	1.09	1.07	1.05
		84days	1.18	1.18	1.19	1.18	1.17	1.15	1.13	1.10
		112days	0.98	0.93	0.87	0.82	0.86	1.01	1.00	0.98
		140days	1.21	1.20	1.18	1.16	1.10	1.07	1.03	1.01
		168days	1.33	1.34	1.35	1.35	1.32	1.29	1.25	1.21
	80°C	3days	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04	1.05	1.06	1.06
		7days	1.10	1.07	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02
		14days	1.21	1.19	1.18	1.18	1.16	1.14	1.12	1.10
		28days	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.10	1.09	1.07
		56days	1.15	1.15	1.16	1.15	1.14	1.12	1.10	1.08
		84days	1.18	1.17	1.15	1.13	1.08	1.04	1.01	0.99
		112days	1.32	1.35	1.36	1.35	1.33	1.30	1.25	1.20
		140days	1.29	1.33	1.35	1.35	1.33	1.30	1.25	1.20
		168days	1.31	1.31	1.30	1.28	1.21	1.16	1.11	1.07
	90°C	3days	1.06	1.05	1.06	1.06	1.07	1.07	1.08	1.07
		7days	1.11	1.12	1.13	1.13	1.15	1.15	1.15	1.14
		14days	1.18	1.18	1.19	1.20	1.21	1.20	1.19	1.17
		28days	1.22	1.25	1.27	1.28	1.29	1.29	1.27	1.24
		56days	1.39	1.40	1.39	1.37	1.32	1.28	1.23	1.18
		84days	1.50	1.55	1.56	1.55	1.50	1.43	1.35	
		112days	1.51	1.55	1.54	1.51	1.43	1.34		
		140days	1.98	2.14	2.19	2.05				
		168days	2.14	2.33	2.29					

- 80℃, 90℃에서 각각 1.01배, 1.30배, 1.34배 증가한다.
- (4) 상시의 허용전단변형률인 75%에서의 전단강성비(노출시간 168일째 Fresh 대비)는 노화축진온도 70℃, 80℃, 90℃에서 각각 1.35배, 1.30배, 2.29배 증가한다.
- (5) 합성고무도 천연고무와 유사하게 노화가 진행될수록(노화축진온도와 노출시간이 증가) 전단강성이 증가하여 경화되며, 이는 교량을 내진성능의 저하로 이어진다. 다만, 탄성받침은 고무와 강재 보강판이 적층으로 구성되기 때문에 고무재료에서의 전단탄성의 변화를 보다 작을 것이다. 추후 노화된 탄성받침의 전단특성 변화에 관한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업의 연구비지원(19SCIP-B146946-03)에 의해 수행되었습니다.

References

1. KS F 4420. (2013 Confirm), Steel-Laminated elastomeric bearing for bridge, Korean Agency for Technology and Standards.
2. Mott, P. H. and Roland, C. M. (2001), Aging of Natural Rubber in Air and Seawater, Rubber Chemistry and Technology, Vol. 74, pp.79-88
3. Haosheng Gu, Yoshito Itoh, Kazuya Satoh. (2005), EFFECT OF RUBBER BEARING AGEING ON SEISMIC RESPONSE OF BASE-ISOLATED STEEL BRIDGES, Fourth International Conference on Advances in Steel Structures, vol2, pp.1627-1632.
4. Yoshikazu TAKAHASHI. (2011), DAMAGE OF RUBBER BEARINGS AND DAMBERS OF BRIDGES IN 2011 GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE
5. Nobuo Soda, Kaneyosi Yamada, Takao Kimizu, Takeshi Hirose, Motoyuki Suzuki. (2013), Performance test of natural rubber bearing ruptured according to The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Journal of Structural Engineering, A., JSCE, 59A, pp.516-526.
6. Jun-ichi Hoshikuma, Masatsugu Shinohara and Takao Okada. (2015), RECENT RESEARCHES ON PROPERTIES OF LAMINATED ELASTOMERIC RUBBER BEARINGS UNDER CYCLIC LOADING
7. KDS 24 17 10. (2016), Standard of Bridge Seismic Design(General Design Method), Korea Construction Standards Center.
8. KDS 24 17 10. (2021), Standard of Bridge Seismic Design(Limits State Design Method), Korea Construction Standards Center.
9. KDS 24 17 10. (2018), Standard of Bridge Seismic Design(Cable Bridge), Korea Construction Standards Center.
10. Korea Infrastructure Safety Corporation (KISC). (2019), Seismic performance evaluation method for existing infrastructures (bridges).
11. KS M ISO 1827. (2014), Rubber, vulcanized or thermoplastic Determination of modulus in shear or adhesion to rigid plates Quadruple shear method, Korean Agency for Technology and Standards.
12. KS M ISO 11346. (2014), Rubber, vulcanized or thermoplastic Estimation of life-time and maximum temperature of use, Korean Agency for Technology and Standards.
13. KS M ISO 188. (2014), Rubber, vulcanized or thermoplastic - Accelerated ageing and heat resistance tests, Korean Agency for Technology and Standards.
14. Sun, C. H and Kim, I. H. (2021), Shear Characteristics of Elastomeric Bearing Rubber Deteriorated by Accelerated Heat Aging(1) : Natural Rubber, *Journal of the Korean Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 25(6).

Received : 10/17/2021

Revised : 10/28/2021

Accepted : 12/01/2021

요 지 : 유연한 고무재료와 강재 보강판을 적층으로 구성한 탄성받침은 우수한 수직강성과 유연한 횡강성으로 교량의 내진보강용으로 널리 사용되고 있다. 무엇보다 시공이 간단하고 비용이 높지 않다는 장점을 지니고 있다. 고무재료의 한 종류인 합성고무는 천연고무에 비해 노화에 대한 저항성이 크지만 이 역시 다양한 열화요인으로 성능이 저하된다. 내진설계기준 및 내진성능평가요령에서는 이러한 노화의 특성을 반영하고 있지 않지만 관련 연구가 축적되면 이를 반영하는 것이 합리적이다. 합성고무를 대상으로 노화축진시간과 노출시간을 변수로 하여 노화축진시험을 수행하여 전단특성의 변화를 분석하였다. 노화가 진행될수록 최대전단응력과 전단변형율은 감소한다. 또한 동일한 전단변형률에서 전단강성이 크게 증가한다.

핵심용어 : 탄성받침, 합성고무, 노화(열화), 노화축진시험, 전단특성