

신개발 유두컵 라이너용 고무조성물의 물리적 특성 조사

이정치¹

서정대학 애완동물과

(게재승인: 2007년 6월 14일)

Study on the Physical Properties of New Developed Teat Cup Liner Compounds

Jeong-chi Lee¹

Department of Veterinary Nurse and Pets Sciences, Seojeong College

Abstract : The teat cup liner compounds with improved physical property were developed using tri-polymer blend of natural rubber(NR), ethylene propylene diene monomer rubber(EPDM) and butyl rubber, and the changes of the physical properties of compounds were measured under various conditions such as standard, thermal, alkaline detergent and acid solutions aging conditions. The hardness of the new teat cup liner compound 1 was 50 and that of the compound 2 was 51 under standard condition. The tensile strength and elongation of the new compound 1 were 154 kgf/cm² and 675% under the standard condition, respectively. Also, those of the new compound 2 were 180 kgf/cm and 634% under the same condition. Their hardness were increased about 2~6% and the tensile strength and elongation were decreased about 10% under the 25°C water and detergent solutions. Even though the new teat cup liner compounds exhibited so much decreased tensile properties under the 105°C thermal aged condition, they sustained more stable aged physical properties including tensile strength and elongation than those of imported teat cup liner materials. Consequently, the new teat cup liner compounds would give prolonged life cycle if they are used as a teat cup liner product.

key words : teat cup liner compound, physical property, hardness, tensile strength.

서 론

유두컵 라이너는 진공압과 대기압에 의해 일어나는 반복적인 개폐를 통해 우유를 배출시켜 주는 착유유니트의 구성요소이다(9). 라이너는 천연고무나 합성고무에 충전보강제와 유기물질 등을 혼합하여 제조되는데, 라이너마다 물성특성이 다르다. 실제 국내에서 사용되고 있는 라이너 재질에 대한 물리화학적 특성을 다양한 분석기법을 통하여 조사한 결과 라이너 제조에 사용된 물질의 종류와 조성비에 차이가 있었다(12). 비록 재질과 조성비는 다양하지만 라이너 재질의 물리적 특성은 적절한 인장응력과 경도를 유지하여야 하고 찢김에 강해야 하고 반복굴신에 대한 저항이 우수하여 신축성이나 반응력이 감소되지 않아야 하며, 세척제, 오존 및 열에 의한 영향이 적어야 한다(10).

유두컵 라이너는 원료 고무 재질이나 착유 전후 사용되는 세척제 그리고 균열 등과 같은 물리적 손상에 의해 라이너의 권장 사용 수명이 단축되면 올바른 착유과정이 수행되지 못하게 되어 결국 유질저하의 원인이 될 수 있다. 따라서 연

구자들은 라이너와 유방염 발생과의 관련성을 시사하는 연구결과를 보고하고 있다(3,5,7,9).

유두컵 라이너는 사용횟수가 정해져 있어 일정 기간이 지나면 교체해 주어야 하는 소모성 제품으로 정기적인 교체를 통해 착유 효율을 높일 수 있다. 실제 농가에서는 라이너를 교환할 때 수입 라이너를 많이 사용하고 있으며, 국산 라이너의 사용은 그리 많지 않는 실정이다. 그래서 우수한 물성을 갖는 라이너 원료고무의 개발을 통한 라이너 제품 생산은 수입대체 효과와 함께 낙농산업의 경쟁력 확보를 위해 꼭 필요하다.

이 연구에서는 우수한 물성을 발휘할 수 있도록 개발한 유두컵 라이너 고무조성물이 이산화염소제와 산성·알칼리 세척제 그리고 열 노화 조건에서 물리적 성질이 어떻게 변화하는가를 평가하기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

고무조성물의 배합

기존 라이너의 제조에 사용된 재료들을 여러 가지 분석기법으로 분석한 결과 대부분의 라이너에 사용된 원료고무는 아크릴로니트릴부타디엔고무(acrylonitrile-butadiene rubber,

¹Corresponding author.
E-mail : jchlee@seojeong.ac.kr

NBR)이었으며, 일부 라이너는 천연고무(natural rubber; NR), 부타디엔고무(butadiene rubber; BR) 및 스타이렌-부타디엔고무(styrene-butadiene rubber; SBR) 등을 조합하여 제조되었거나 실리콘고무가 사용된 것으로 분석되었다(12). 이 연구에서는 NBR의 장점을 유지하면서 단점을 보완하기 위해 삼중혼합을 기본으로 NR/EPDM(ethylene propylene diene monomer)/butyl의 라이너 고무조성물 2종을 개발하였다.

라이너용 고무조성물의 물성을 강화하기 위하여 카본블랙(Korea Carbon Black Co, Korea)과 실리카(Deggusa, Germany)를 보강 충전제로 사용하였고 공통재료로 산화마그네슘, 스테아린산, 내 산화제 및 내 오존제의 노화방지제, 왁스 및 공정오일을 1차 배합제로 사용하였으며, 최종배합에서 황 가류를 위해 황과 촉진제로 Monsanto사의 TBBS(*N-ter*-butyl-2-benzothiazole sulfenamide)를 첨가하였다. 고무조성물의 가황계는 사용하는 유황과 촉진제 비율에 따라 분류하는데(8), 이 연구에서 개발한 라이너 고무조성물은 범용 황 가황계를 적용하였다. 그리고 신개발 라이너 고무조성물의 배합표(recipe)는 Table 1에 정리하였다.

고무조성물의 물리시험 시편 제조

배합된 미가류 고무 시편을 55% 이하의 상대습도와 23±3°C의 온도에서 일정시간 동안 방치한 다음 물성시편용 몰드 용적의 규격에 맞도록 일정형태로 준비하여 160°C의 가류 온도에서 가황하였고 압력 평판식 전열기(Hanil Co, Korea)를 사용하여 500 psi 압력에서 시편을 제조하였다.

Table 1. Formulation of new compounds for teat cup liner (unit: phr^{a)})

Items	Materials	Liner compound 1	Liner compound 2
Polymer	NR	50	55
	SBR	-	-
	BR	-	-
	EPDM	15	25
	Butyl	35	20
Filler	Carbon black	-	30
	Silica	45	-
Activator	MgO	5	3
	Fatty acid	1.5	2
Colorant	TiO ₂	30	-
Antioxidant & Antiozonant	BHT ^{b)}	1.5	3
	6PPD ^{c)}	-	-
	Wax	3	-
Process oil	Paraffin oil	4	5
Curative	Sulfur	1.4	1.6
Accelerator	TBBS ^{d)}	1	0.8

^{a)}part per hundred rubber.

^{b)}butylated hydroxytoluene.

^{c)}*N*-(1,3-dimethylbutyl)-*N'*-phenyldiamine-*p*-phenylenediamine).

^{d)}TBBS: *N-ter*-butyl-2-benzothiazolesulfenamide.

라이너 고무조성물의 물성 평가

신개발 유두컵 라이너용 고무조성물 2종의 물리적 성질을 조사하기 위해 표준조건, 25°C의 온수(pH 7), 이산화염소계 세척제(마이코존, 유니화학), 산성·알칼리 세척제(알파크린 톱 산성·알칼리, 서울낙농사) 그리고 105°C의 고온에서 각각 노화시킨 다음 신개발 라이너들의 경도와 인장강도를 평가하였다. 또한 외부 충격에 의한 라이너 고무조성물의 균열 성장을 비교하기 위하여 De Mattia Flexing Cracking(DMFC) 시험을 통하여 crack growth 평가와 인열저항(tear resistance)을 평가하였으며, 반복적인 굴신운동에 의한 피로도 특성(fatigue to failure)을 측정하였다.

(1) 라이너 고무조성물의 경도 측정

세척제에 노화되었을 때의 경도변화는 25의 온수(pH 7), 권장 희석농도의 이산화염소계 세척제(800배 희석) 및 산성·알칼리 세척제(5 g/L water) 용액에서 240시간과 480시간동안 각각 노화시킨 다음 측정하였으며, 열 노화에 의한 경도 변화는 105°C 오븐에서 24시간과 72시간동안 각각 열 노화시킨 다음 Hardness tester(JIS A, Japan)를 이용하여 측정하였다.

(2) 라이너 고무조성물의 인장강도 측정

고무 시편을 일정한 속도로 신장하여 절단될 때의 최대 응력을 측정하는 인장강도, 시편이 절단될 때의 신장률 그리고 시편을 신장할 때 특정 신장에 대한 300% 인장응력은 Tensile tester(Instron 6021, USA)를 이용하여 측정하였다. 세척제에 노화되었을 때의 인장강도와 신장률의 변화는 25°C의 온수(pH 7), 권장 희석농도의 이산화염소계 세척제 및 산성·알칼리 세척제 용액에 240시간과 480시간동안 각각 노화시킨 다음 측정하였고 열 노화에 의한 인장강도와 신장률의 변화는 105°C 오븐에서 24시간과 72시간동안 각각 열 노화시킨 후 물성을 측정하였다.

(3) 라이너 고무조성물의 동적 파괴특성 측정

장기간 반복되는 변형이나 굴신에 의한 동적 피로특성을 평가하기 위해 Fatigue to failure tester(K-49 Monsanto, USA)를 이용하여 신개발 라이너 고무조성물의 시편이 끊어지는데 걸린 회전수를 측정하였다. 또한 DMFC 시험을 이용하여 5 Hz 조건에서 100,000 cycle 경과 후에 라이너 고무조성물의 균열 성장길이를 측정하였으며, 인열저항(tear resistance)은 Tensile tester(Instron 6021, USA)를 이용하여 측정하였다.

결 과

이산화염소계 세척제에서 노화된 신개발 라이너 고무조성물의 물성 평가

새롭게 개발한 2가지 라이너 고무조성물의 표준조건, 25°C의 온수 및 세척제 노화조건에서 측정된 경도, 인장강도 및 신장률을 Table 2에 나타내었다. 라이너 고무조성물 2종의 경도는 표준조건에서 약 50정도 수준이었으며, 25°C의 온수 및 세척제 용액에서 노화시킨 후 경도는 신제품의 102~106%로 측정되었다. 또한 인장강도는 표준조건에서의 93% 이상으로

Table 2. Hardness, tensile strength (kgf/cm²) and elongation (%) of developed teat cup liner compounds under chlorine dioxide detergent aging conditions

	Hardness		Tensile strength		Elongation	
	Liner compound 1	Liner compound 2	Liner compound 1	Liner compound 2	Liner compound 1	Liner compound 2
Initial ^{a)}	50 (100)*	51 (100)	154 (100)	180 (100)	675 (100)	634 (100)
Water 1 ^{b)}	52 (104)	54 (106)	152 (99)	172 (96)	662 (98)	584 (92)
Water 2 ^{c)}	51 (102)	53 (104)	143 (93)	180 (100)	647 (96)	585 (92)
Chlorine dioxide detergent 1 ^{d)}	52 (104)	53 (104)	154 (100)	170 (94)	645 (96)	576 (91)
Chlorine dioxide detergent 2 ^{e)}	52 (104)	53 (104)	152 (99)	187 (104)	662 (98)	614 (97)

*aging rate (%).

^{a)}24 hours at room temperature.

^{b)}240 hours aging in 25°C water bath.

^{c)}480 hours aging in 25°C water bath.

^{d)}240 hours aging in aqueous chlorine dioxide detergent diluted 800 times at 25°C bath.

^{e)}480 hours aging in aqueous chlorine dioxide detergent diluted 800 times at 25°C bath.

Table 3. Hardness, tensile strength (kgf/cm²) and elongation (%) of developed liner compounds under acid solution aging conditions

	Hardness		Tensile strength		Elongation	
	Liner compound 1	Liner compound 2	Liner compound 1	Liner compound 2	Liner compound 1	Liner compound 2
Initial ^{a)}	50 (100)*	51 (100)	154 (100)	180 (100)	675 (100)	634 (100)
Water 1 ^{b)}	52 (104)	54 (106)	152 (99)	172 (96)	662 (98)	584 (92)
Water 2 ^{c)}	51 (102)	53 (104)	143 (93)	180 (100)	647 (96)	585 (92)
Acid 1 ^{d)}	53 (106)	52 (102)	153 (99)	174 (97)	649 (96)	616 (97)
Acid 2 ^{e)}	53 (106)	53 (104)	156 (101)	184 (102)	657 (97)	624 (98)

*aging rate (%).

^{a)}24 hours at room temperature.

^{b)}240 hours aging in 25°C water bath.

^{c)}480 hours aging in 25°C water bath.

^{d)}240 hours aging in acid solution (5 g/L water) at 25°C bath.

^{e)}480 hours aging in acid solution (5 g/L water) at 25°C bath.

측정되었으며, 노화 신장률도 91% 이상을 유지하는 것으로 평가되었다.

신개발 라이너 고무조성물 2종의 300% 인장응력(modulus)을 알아보기 위해 신장률(strain)에 대한 인장강도(stress)를 도시하여 Fig 1에 나타내었다. 라이너 고무조성물 1의 300% 인장응력은 표준조건에 비하여 노화조건에서도 차이가 없었으나, 라이너 고무조성물 2는 표준조건에 인장응력 대비 노화조건에서 15%정도 상승하는 것으로 측정되었다.

산성 세척제에서 노화된 신개발 라이너 고무조성물의 물성 평가

산성 세척제에 대한 신개발 라이너 고무조성물들의 경도, 인장강도 및 신장률의 변화를 Table 3에 나타내었다. 신개발 라이너 고무조성물 2종을 25°C의 온수와 산성 세척제에 노화시키면 표준조건에서 측정된 경도 대비 102~106% 수준으로 유지되었다. 또한 노화 인장강도는 표준조건 대비 93% 이상 유지되었으며, 신장률도 92% 이상 유지되는 것으로 평가되었다.

신개발 라이너 고무조성물 2종의 300% 인장응력의 변화

는 Fig 2에 나타내었다. 라이너 고무조성물 1의 300% 인장응력은 표준조건에 비하여 노화조건에서도 거의 변화가 없었으나, 라이너 고무조성물 2는 노화조건에 따라 인장응력이 약간씩 상승하는 것으로 측정되었다.

알칼리 세척제에서 노화된 신개발 라이너 고무조성물의 물성 평가

알칼리 세척제 수용액에서 노화시킨 신개발 고무조성물들의 경도, 인장강도 및 신장률을 측정하여 Table 4에 나타내었다. 라이너 고무조성물 1과 2의 경도는 표준조건 대비 104~106% 수준을 유지하였다. 그리고 라이너 고무조성물 1의 인장강도와 신장률은 표준수준과 유사하였으나, 라이너 고무조성물 2의 인장강도와 신장률은 240시간 노화조건에서는 표준조건과 유사했지만, 480시간 노화조건에서는 하락 폭이 컸다.

알칼리 세척제에서 노화시킨 신개발 라이너 고무조성물 2종의 300% 인장응력의 변화는 Fig 3에 나타내었다. 라이너 고무조성물 1의 300% 인장응력은 표준조건 대비 노화조건에서도 거의 변화가 없었으나, 라이너 고무조성물 2는 노화에 의해 인장응력이 약간 상승하는 것으로 측정되었다.

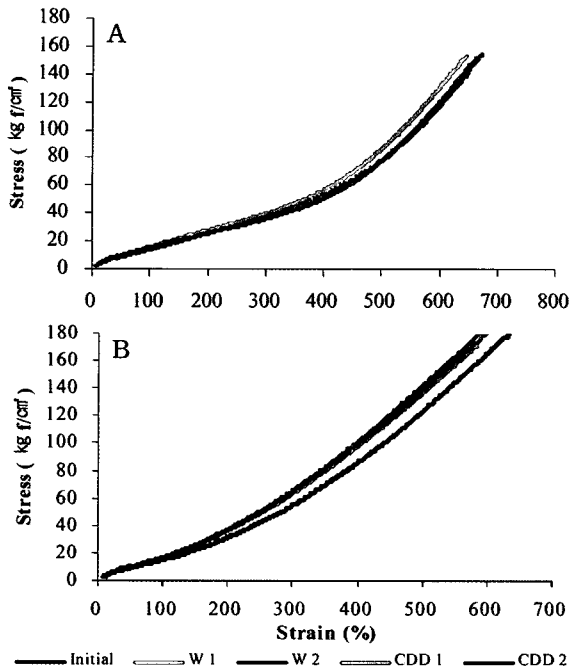


Fig 1. Stress-strain curves of developed teat cup liner compound 1 (A) and 2 (B) under various aging conditions. Initial, 24 hours at room temperature; W 1, 240 hours aging in 25°C water bath; W 2, 480 hours aging in 25°C water bath; CDD 1, 240 hours aging in aqueous chlorine dioxide detergent diluted 800 times at 25 bath; CDD 2, 480 hours aging in aqueous chlorine dioxide detergent diluted 800 times at 25 bath.

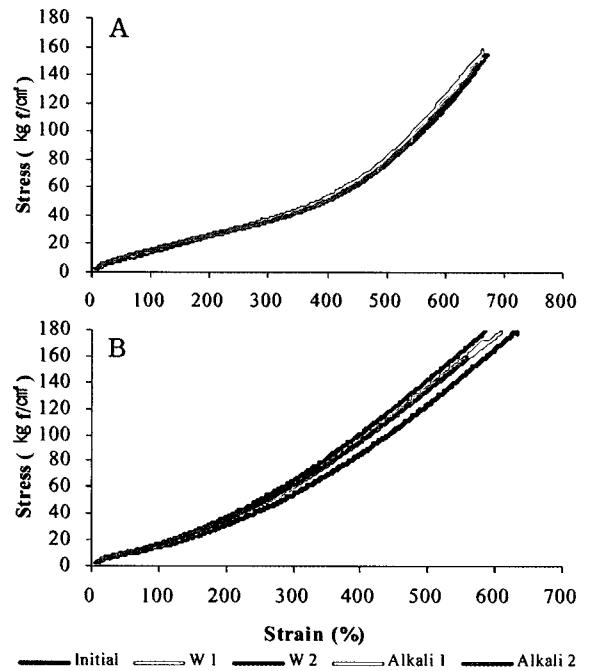


Fig 3. Stress-strain curves of developed teat cup liner compound 1 (A) and 2 (B) under various aging conditions. Initial, 24 hours at room temperature; W 1, 240 hours aging in 25°C water bath; W 2, 480 hours aging in 25°C water bath; Alkali 1, 240 hours aging in alkaline detergent (5 g/L water) at 25°C bath; Alkali 2, 480 hours aging in alkaline detergent (5 g/L water) at 25°C bath.

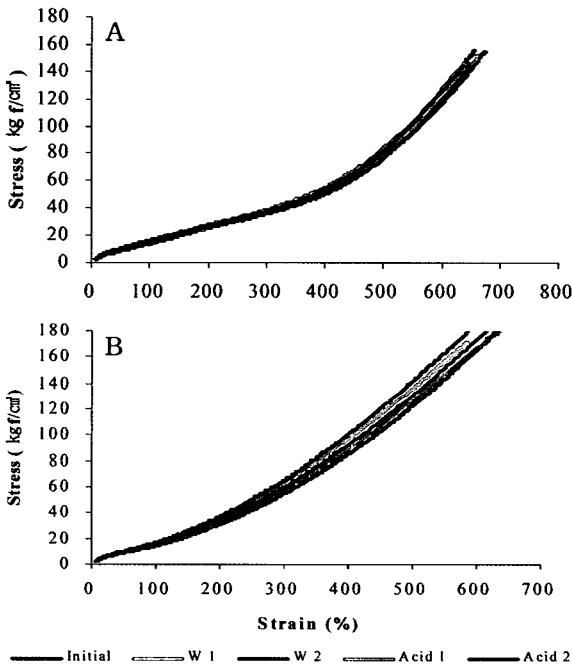


Fig 2. Stress-strain curves of developed teat cup liner compound 1 (A) and 2 (B) under various aging conditions. Initial, 24 hours at room temperature; W1, 240 hours aging in 25°C water bath; W 2, 480 hours aging in 25°C water bath; Acid 1, 240 hours aging in acid solution (5 g/L water) at 25°C bath; Acid 2, 480 hours aging in acid solution (5 g/L water) at 25°C bath.

105°C에서 열 노화된 신개발 라이너 고무조성물의 물성 평가

신개발 라이너 고무조성물 2종을 105°C의 고온에서 노화 시킨 후 측정된 경도, 인장강도 및 신장률은 Table 5에 나타내었다. 라이너 고무조성물들의 경도변화는 표준조건 및 세척제 노화 조건과 유사한 수준으로 측정되었다. 그러나 인장강도는 24시간과 72시간 열 노화 조건에서 표준조건 대비 78~88%와 52~61% 수준으로 각각 크게 감소함으로써 열에 의한 영향이 가장 크게 나타남을 알 수 있었으며, 신장률 평가에서도 표준조건 대비 75~90%와 59~70% 수준으로 각각 하락하였다.

105°C 열 노화조건에서 신개발 라이너 고무조성물 2종의 300% 인장응력의 변화는 Fig 4에 나타내었다. 라이너 고무조성물 1의 300% 인장응력은 열 노화조건에서 약간 증가하였으나, 라이너 고무조성물 2는 열 노화에 의해 인장응력이 상당히 증가하는 것으로 측정되었다.

라이너 고무조성물의 동적 파괴특성

2가지 라이너 고무조성물의 파괴특성을 평가한 결과는 Table 6에 나타내었다. NR/EPDM/butyl의 원료고무에 카본블랙을 사용한 라이너 고무조성물 2가 NR/butyl/EPDM의 원료고무와 충전제로 실리카를 사용한 라이너 고무조성물 1보다 내 파괴특성이 우수하였다.

고무 제품에 발생한 균열의 성장정도를 측정하기 위한

Table 4. Hardness, tensile strength (kgf/cm²) and elongation (%) of developed teat cup liner compounds under alkaline detergent aging conditions

	Hardness		Tensile strength		Elongation	
	Liner compound 1	Liner compound 2	Liner compound 1	Liner compound 2	Liner compound 1	Liner compound 2
Initial ^{a)}	50 (100)	51 (100)	154 (100)	180 (100)	675(100)	634 (100)
Water 1 ^{b)}	52 (104)	54 (106)	152 (99)	172 (96)	662 (98)	584 (92)
Water 2 ^{c)}	51 (102)	53 (104)	143 (93)	180 (100)	647 (96)	585 (92)
Alkaline detergent 1 ^{d)}	53 (106)	53 (104)	158 (103)	181 (100)	662 (98)	608 (96)
Alkaline detergent 2 ^{e)}	53 (106)	53 (104)	147 (95)	160 (89)	655 (97)	559 (88)

*aging rate (%).

^{a)}24 hours at room temperature.

^{b)}240 hours aging in 25°C water bath.

^{c)}480 hours aging in 25°C water bath.

^{d)}240 hours aging in alkaline detergent (5 g/L water) at 25°C bath.

^{e)}480 hours aging in alkaline detergent (5 g/L water) at 25°C bath.

Table 5. Hardness, tensile Strength (kgf/cm²) and elongation (%) of developed teat cup liner compounds under thermal aging conditions

	Hardness		Tensile strength		Elongation	
	Liner compound 1	Liner compound 2	Liner compound 1	Liner compound 2	Liner compound 1	Liner compound 2
Initial ^{a)}	50 (100)	51 (100)	154 (100)	180 (100)	675 (100)	634 (100)
Aging 1 ^{b)}	52 (104)	54 (106)	136 (88)	141 (78)	606 (90)	473 (75)
Aging 2 ^{c)}	52 (104)	54 (106)	80 (52)	110 (61)	475 (70)	375 (59)

**aging rate (%).

^{a)}24 hours at room temperature.

^{b)}24 hours aging at 105°C oven.

^{c)}72 hours aging at 105°C oven.

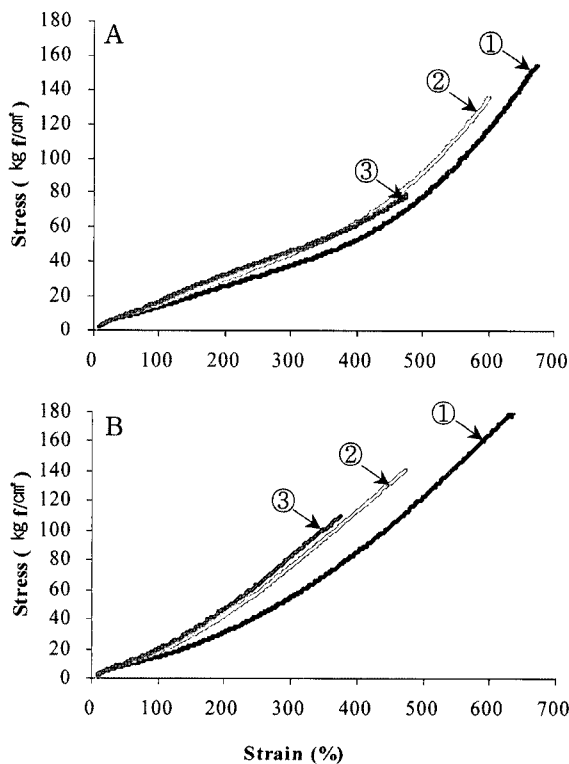


Fig 4. Stress-strain curves of developed teat cup liner compound 1 (A) and 2 (B) under various aging conditions. ①, 24 hours at room temperature; ②, 24 hours aging at 105°C oven; ③, 72 hours aging at 105°C oven.

Table 6. Fatigue to failure property of developed teat cup liner compounds

	Liner compound 1	Liner compound 2
Cycle ¹⁾	133,780	155,260

¹⁾ 1 cycle = 100 times/min.

DMFC 균열성장은 라이너 고무조성물 2보다 라이너 고무조성물 1이 상대적으로 크게 측정되었으며(Fig 5), 인열(tear)에 의해 균열이 성장하다가 찢겨져 나갈 때 측정되는 인열 에너지는 고무조성물 2(34 kgf/cm²)가 라이너 고무조성물 1(29 kgf/cm²)보다 높았다(Fig 6).

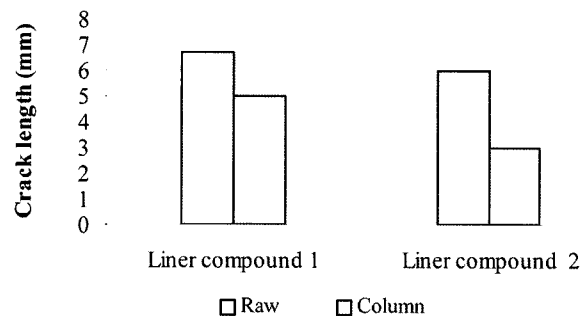


Fig 5. Results of de mattia flex cracking test of developed teat cup liner compounds.

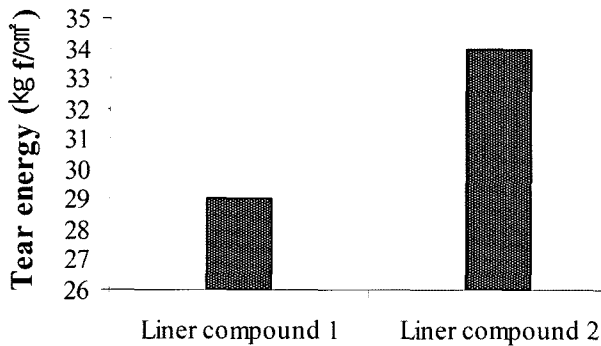


Fig 6. Results of tear energy of developed teat cup liner compounds.

고 찰

유두컵 라이너는 유방염 발생과 관련이 있기 때문에 그 재질과 물성을 고려하여 신중하게 선택하여야 한다. 라이너의 재질은 원료고무와 다양한 화합물이 혼합된 고분자 물질로서 라이너 제조에 사용된 화합물의 종류나 조성비 및 사용조건에 따라서 제품의 수명은 차이가 난다.

기존 라이너 원료고무로 많이 사용된 NBR은 고분자 사슬의 팽윤을 방지하는 극성기를 가지고 있어서 내유성이 우수한 반면 고분자 사슬의 화학적 불포화도가 아주 높아서 내오존성이 나쁜 것으로 알려져 있다. 또한 탄화수소 고분자 사슬에 극성기가 없는 NR, SBR, BR 및 EPDM의 내유성은 약하고 NR, SBR 및 BR의 내오존성능은 약간 낮은 수준인 반면, butyl은 내오존성능이 양호하고 EPDM은 매우 우수한 내오존성능을 지니고 있는 것으로 알려져 있다(1,2,4,11). 일반적으로 착유기용 라이너 고무는 오랜 기간 사용하는 동안에 고무 사슬의 이중결합을 오존이 공격하거나 착유과정 중 수많은 반복 굴신에 의해 피로가 누적되어 고분자 사슬이 끊어지거나 균열이 발생하게 되므로 내오존성능이 우수한 butyl과 EPDM의 사용은 라이너의 수명을 향상시킬 수 있을 것이다. 또한 고무 제품은 흠이나 모서리 부위에 높은 응력이 집중되면 찢김이 발생하는 경우가 많다. 이러한 인열 현상에 대한 저항성은 일반적으로 높은 신장률과 압축 변형률을 가진 재료가 우수하다고 알려져 있다(1,2,4,11). 이 연구에서는 역학적 강도, 내마모성 및 탄성이 우수한 NR에 기존 라이너 재질에 대한 물리화학적 특성 조사 결과(12)를 토대로 NBR의 장점을 유지하고 단점을 보완하기 위하여 EPDM과 butyl을 사용하는 NR/EPDM/butyl의 삼중혼합 고무조성물 2종을 개발하여 실제 라이너가 사용되는 여러 환경에서 신개발 라이너 고무조성물의 물성을 평가하였다.

신개발 라이너들의 표준 경도는 약 50 수준으로, 농가에서 사용하는 라이너 제품의 평균 강도인 59보다(12) 낮게 측정되었다. 또한 온수와 이산화염소계 및 산성·알칼리 세척제에서 노화시킨 다음 측정된 노화 경도는 표준상태 대비 2~6% 증가하였다. 경도가 너무 증가하면 라이너가 딱딱해져

마찰력이 증가되고 그로 인해 유두에 상처를 입힐 수 있기 때문에 적정 수준의 경도가 사용기간 동안 계속 유지되어야 하며, 라이너 제품의 경도변화가 적을수록 우수한 재질이라 할 수 있다. 그래서 이 연구 결과 새로 개발한 라이너 고무 조성물 2종은 실제로 라이너가 사용되는 조건에서도 안정적인 경도를 유지할 것으로 예상되었다.

표준조건에서 측정된 신개발 라이너 고무조성물 1과 2의 인장강도는 각각 154 kgf/cm²와 180 kgf/cm²로서 농가에서 사용하는 라이너제품의 평균 인장강도인 134 kgf/cm²보다(12) 최소 20 kgf/cm² 이상 높게 측정되었으며, 세척제 노화조건에서 측정된 인장강도는 표준 인장강도의 90% 이상 수준으로 측정되었다. 따라서 신개발 라이너 고무조성물은 노화에 의해 인장강도가 쉽게 하락하지 않고 오히려 신폼 수입 라이너보다 더 높은 인장강도를 유지함을 알 수 있었다.

신개발 라이너 고무조성물 1과 2의 신장률은 각각 675%와 634%로서 기존 라이너 제품의 평균 신장률인 473%보다(12) 약 200% 정도 높게 측정되었다. 또한 노화 신장률은 표준상태 신장률의 88~98% 수준으로 측정되었다. 따라서 신개발 라이너 고무조성물은 노화가 되더라도 라이너 제품보다 더 높은 신장률을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

고무조성물은 열에 의해 노화가 급격히 진행되므로 신개발 라이너 2종에 대해 105°C에서 24시간과 72시간동안 각각 열 노화시킨 다음 경도 변화를 측정하였는데, 라이너 고무조성물들의 경도변화는 세척제 노화에 의한 변화와 유사하였다. 이는 불포화도가 낮은 butyl과 EPDM을 주원료로 사용함으로써 노화를 시켜도 경도가 크게 증가하지 않음을 알 수 있었다. 그러나 신개발 라이너 고무조성물 2종은 열 노화에 의한 인장물성이 상대적으로 크게 하락하였는데, 24시간 열 노화조건에서는 표준조건 대비 78~88% 수준으로 감소하였으며, 72시간 열 노화 경우에는 52~61% 수준으로 크게 감소하였으며, 신장률 평가에서도 24시간과 72시간 열 노화조건에서는 표준조건 대비 75~90%와 59~70% 수준으로 각각 하락한 것으로 평가되었다. 이는 신개발 라이너 고무조성물이 세척제 노화에서는 물성 하락이 거의 없었지만 열 노화에서는 물성하락이 크게 나타남을 알 수 있었다.

일반적으로 가황된 고무조성물은 오존, 열, 산소, 햇빛 그리고 높은 방사선 에너지 등에 의해 분해와 결합이 반복되면서 사슬의 절단 및 극성기의 형성으로 인한 분자의 화학적 변화에 의해 노화가 일어나 물성이 변화되며, 불포화도가 높을수록 노화되기가 쉽다고 알려져 있다(6). 신개발 라이너 고무조성물들의 인장물성 측정에서 불포화도가 낮은 butyl과 EPDM을 주원료로 사용하고 보강 충전제로 카본블랙을 사용한 라이너 고무조성물 2는 열 노화조건에서도 경도와 인장응력의 증가가 크지 않았으나 보강 충전제로 실리카를 사용하고 열전도도가 좋은 다량의 착색제(TiO₂)를 사용한 라이너 고무조성물 1은 상대적으로 인장응력이 크게 증가하였다. 이는 라이너 1과 라이너 2가 유사한 원료고무로 구성되어 있을지라도 라이너 1에는 열전도도가 상대적으로 우수한 착색제(TiO₂)가 다량 사용되어 열 노화에 기여하는 정도가 크기 때

문으로 보인다. 또한 열 노화 상태에서 신개발 고무조성물 2종의 인장강도와 신장률 변화는 세척제 노화에서보다 크게 나타남을 알 수 있었다.

최적의 물성을 지닌 라이너는 최상의 착유과정을 통해 고품질의 원유를 생산할 수 있다. 이 연구에서의 신개발 유두컵 라이너 고무조성물들은 다양한 노화조건에서도 우수한 물성을 발휘하였으며, 이 연구 결과는 물성이 향상된 유두컵 라이너 개발에 기초 자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

결 론

물성이 향상된 NR, EPDM 및 butyl의 삼중혼합 라이너 고무조성물 2종을 개발하여 표준조건, 세척제 및 열 노화조건에서 경도, 인장강도, 신장률, 인장응력, 내 피로특성, 내 균열특성 및 인열에너지를 측정하였다.

새로 개발한 유두컵 라이너 고무조성물 1과 2의 경도는 50과 51이었고 인장강도와 신장률은 154 kgf/cm²와 180 kgf/cm² 그리고 675%와 634%로 조사되었으며, 25°C의 온수 및 세척제 노화조건에서 경도는 표준조건 대비 2~6% 증가하였고 인장강도는 90% 이상 그리고 신장률은 88~98% 수준이었으며, 300% 인장응력은 라이너 고무조성물 1은 차이가 없었지만 고무조성물 2는 상승하였다. 그러나 신개발 라이너 고무조성물 2종의 105°C 열 노화에서 인장물성은 상대적으로 크게 하락하여 열에 의한 영향은 크게 나타났다. 또한 신개발 라이너 고무조성물의 내 피로특성은 고무조성물 2가 고무조성물 1보다 더 우수하였고 인열에너지 역시 고무조성물 2가 더 높게 조사되었다. 따라서 신개발 라이너 고무조성물들이 제품화되어 실제 낙농가에서 사용될 경우 기존 라이너 제품보다 수명이 향상될 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 농림부 농림기술개발사업(과제번호 199067-3)의 지원에 의해 이루어진 것임

참 고 문 헌

1. Dick JS. Rubber Technology(Compounding and Testing for Performance). Ohio: Hanser Gardner Publications. 2001: 126-139.
2. Gent AN. Engineering with Rubber(How to Design Rubber Components), Rubber Division of the American Chemical Society. New York: Oxford University Press. 1992: 13-17.
3. Magee C, Sagi R, Scott NR, Gates RS. Bacterial transport within and among various teat cup and cluster assemblies during milking. J Dairy Sci 1984; 67: 2034-2040.
4. Mark JE, Erman B, Eirich FR. Science and Technology of Rubber. 2nd ed. San Diego, California: Academic press. 1994: 420-432.
5. McDonald JS. Effect of milking machine design and function on new intramammary infection. J Milk Food Technol 1975; 38: 44-51.
6. Medalia AI. Heat generation in elastomer compounds: causes and effects(review). Rubber Chem and Technol 1991; 64: 481-492.
7. Mein GA, Williams DM, Thiel CC. Compressive load applied by the teat cup liner to the bovine teat. J Dairy Res 1987; 54: 327-337.
8. Park BH, Jung IG, Park SS. Effect of various cross-linking types on the physical properties in carbon black-filled natural rubber compound. Polymer-Korea 2001; 25: 63-70.
9. Spencer SB, Jones LR. Liner wall movement and vacuum measured by data acquisition. J Dairy Sci 2000; 83: 1110-1114.
10. 국립수의과학검역원. 착유기 관리 기술서. 안양: 건양인쇄사. 2002: 66-69.
11. 이법철, 이성훈, 송한중. 고무재료 가이드. 1판. 서울: 배문사. 2001: 95-153.
12. 이정치, 박형련, 김명선, 이정길, 이채용. 유두컵 라이너의 물리화학적 특성 조사. 한국임상수의학회지 2005; 22: 100-107.