

‘수용성 아크릴 탄성중합체 지붕 차열 코팅’에서 태양열 반사에 대한 유리버블 (Glass bubble,GB)의 평가

by Kevin Rink and Andrea Charif Rodriguez, 3M Company

1. 개요

주거밀집지역은 더운 기온을 시원하게 하기 위해 많은 전력이 요구된다. 이로 인한 에너지 비용을 절약하기 위해 코팅업체에서는 태양열반사코팅을 개발하기 시작했다. 건축 분야에서는 지붕 및 벽면 코팅을 주로 하는 편인데 일반적으로 태양열 반사 코팅은 열 적외선 영역에서 높은 태양광 반사율과 방출값으로 그 성격을 나타낸다.

이러한 차열코팅은 백색 수용성 탄성중합체 및 알루미늄 착색 아스팔트, 이 2가지 타입의 코팅형식으로 진행된다. 이 연구는 백색으로 착색된 100%아크릴을 베이스로 한 바인더를 활용하는 것에 대해 초점을 맞췄다.

태양열 스펙트럼은 3가지 영역 즉, 태양열 에너지의 5%인 UV영역(200~400nm), 태양열 에너지의 45%인 가시광선영역(400~700nm), 태양열 에너지의 49%인 IR영역(700~2,500nm)으로 분류되어진다. 햇빛의 약 96%는 400-2500nm범위에 들어 이 영역의 데이터분석은 특히 흥미로운 부분이다.

‘차가운’ 지붕 페인트는 입사 에너지의 20%이하를 흡수하거나 전달하여 태양광 반사율이 80% 이 된다.

태양열방출값은 표면이 열을 얼마나 쉽게 포기하는지를 측정하는 것으로, 열 방출을 쉽게 하는 표면이 저온에서 평형상태에 쉽게 도달하고, 방출값이 높다는 것과 같은 의미이다. TSR(총 태양반사율_Total Solar Reflectance)은 각 태양에너지 파장에서 물질에 대한 반사에너지의 평균 무게 값을 말한다. ‘ASTM C1483’은 0.8의 태양열반사를 가지는 액체형 코팅법으로써 RCC(방사선 제어코팅_Radiation control coating)를 0.8의 적외선 방출을 가지는 액체형 코팅으로 정의했다.

열방출과 TSR(총 태양반사율)의 성질은 SRI(태양반사계수_검정표면에서 값 : 0, 하얀표면에서 값 : 100)의 수치를 계산하는데 사용되었고 SRI값은 100의 값을 초과할 수 있으며 이는 표준에너지 계산기 비용 모듈에 입력하여 전체 잠재 에너지 절약정도를 계산할 수 있다.

굴절률과 입자사이즈가 각 파장과 관련성이 높기 때문에 일반적으로 TiO₂는 가시광선과 적외선 방출을 매우 효과적으로 하는데 사용된다. 이때 태양열 반사 코팅시 유리거품은 또 다른 옵션이 된다. 유리거품의 입자들은 중공구조로 저밀도, 방수성질을 가지며 소다석회붕규산염유리이다. 또한 석유 및 가스, 자동차 그리고 페인트나 코팅과 같은 다양한 산업에서 상업적으로 사용되기도 한다. 그들의 중공구조는 굴절률 차이로 인해 바인더나 첨가제가 다른 물질과 반응할 때 또 다른 빛의 산란을 준다.

*3M™의 유리거품. 표 1의 각주를 참조.

이 기사는 상용충전제와 CMB(상업용 마이크로스피어블렌드_commercial microsphere blend)에 대한 유리거품의 3가지 등급에 대한 효과를 평가한다. (블렌드: 100%아크릴 탄성중합체의 라텍스시스템에서 블렌드한 것)

이 비교는 수용성 아크릴 탄성중합체의 지붕코팅을 위해 이루어진다. 태양열반사의 방사율, 열적효율과 같은 성질들은 백색 탄성중합체의 수용성 라텍스 지붕코팅을 위해 잠재적으로 에너지를 보관하는 것과 연관되기 때문에 평가될 수 있다. 촉진 외부 풍화 및 먼지 흡수 저항(DPUR)에 대한 간단한 평가도 이루어진다. 지붕코팅에 쓰이는 또 다른 탄성중합체의 성능평가는 이 연구의 범위를 벗어나 향후 연구에 더러 쓰일 것이다. 여기에는 연신율, 공기투과 및 흡수, 난연성, 그리고 균 저항과 같은 것들을 포함한다.

2. 실험방법 및 실험재료

이 연구에서 사용된 백색 페인트들의 리스트들은 [표1]에 기재되어있다. 표준 대조군들은 젖은 상태에서 TiO₂의 2.3vol과 탄산칼슘의 18.7%를 함유하였다. 이들은 건조상태에서, TiO₂의 5.3vol, CaCO₃의 35.3vol의 수치와 같고 다른 재료의 약 2.7vol%와도 같은 수치로 본다.

52% NVV를 함유하는 페인트들은 무광(5이하의 광택)이고 총 PVC량(안료부피농도_pigment volume concentration)의 42%를 가진다. 100-125KU(Krebs Units)의 점도, 레벨링, 거품제거와 같은 매개변수들은 적절한 첨가제를 사용하여 조절할 수 있다. VOC(휘발성유기화합물)는 이 공식에서 약 50g/l이다. 유리거품은 혹은 상업적인 CMB(상업용 마이크로스피어블렌드_commercial microsphere blend)와 같은 차후의 형성물들은 PVC로 조절함으로써 만들어진다.

유리 비누 또는 CMB를 함유하는 형성물은 체적 기준으로 동일한 양을 대한 안료부피농도(PVC) 기여도를 충전제로부터 동일하게 유지시킴으로써 제조되었고 파손을 최소화 하기위해 유리거품과 CMB를 마지막에 첨가한다. 평가된 첨가제들의 일반적인 물성은 [표2]에 기재되어있다.

밀도, 강도, 입자크기의 넓은 범위를 커버하기 위해 유리거품의 3가지 등급을 선택한다. 탄산칼슘은 비교를 위해 상업용 페인트의 예시로 사용되었기 때문에 선택되었다.

모든 페인트들은 3003H14(알루미늄 합금종류) 알루미늄 압연다듬질(압연에 의해 판등의 표면을 평활하게 다듬질하는 것) 판 6X12in 에 적용되어진다. 이 규격의 패턴들은 다양한 bird bars 삭감도구들을 사용하고 필름이 두껍게 형성되는 방법을 제공했다. 건조 상태에서 필름두께는 15-20mils(350-508microns)이고 경우에 따라 한번이상의 코팅을 요구하기도 한다. 촉진 내후성테스트는 더 낮은 건조필름두께(50-100microns)에서 시행되어졌고, 페인트들은 시험하기 위해 최소 3~7일 동안 건조되어졌다. [표3]은 이러한 연구를 위해 사용된 시험방법에 대해 언급해 놓았다.

표 1.

MATERIAL	WPG	CaCO ₃ (CONTROL)					
		AMOUNT (GAL)	GB3	GB1	CMB	GB2	
WATER	8.34	18.23	18.23	18.23	18.23	18.23	
DISPERSANT	10.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
POTASSIUM TRIOXYPHOSPHATE	21.15	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	
CELLULOSIC THICKENER	11.61	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	
DEFORMER	7.93	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	
MICROBICIDE	8.33	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	
WETTING AGENT	8.97	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	
TITANIUM DIOXIDE	32.33	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	
ZINC OXIDE	46.82	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	
CALCIUM CARBONATE	22.70	18.72	0	0	0	0	
TOTALS	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	

표 2.

PRODUCT	TARGET CRUSH STRENGTH, psi (90% Survival)	TRUE DENSITY g/cc	PARTICLE SIZE DISTRIBUTION (Microns by Volume)		
			10%	50%	90%
CALCIUM CARBONATE	HARDNESS 3-4 MOHS SCALE	2.72	—	AVERAGE 112 MICRONS	—
GB3	16,000	0.46	12	20	30
GB1	250	0.525	30	65	115
CMB (SOLID PARTICLES)	1,000 (1-98%)	0.73	—	AVERAGE 100 MICRONS	—
GB2	400	0.22	20	35	65
COMMERCIAL WB ELASTOMERIC PAINT	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

표 3.

TEST TYPE	TEST METHOD
OPACITY	ASTM D2805
GLOSS	ASTM D523
DRY FILM THICKNESS	POSSEFECTOR 6000 GAGE*
SOLAR REFLECTANCE	ASTM E903/G173
SOLAR REFLECTANCE INDEX	COMPUTER MODEL BASED ON ASTM E1990
THERMAL EMITTANCE	ASTM E1377 TIDAL HEMISPHERICAL AT AMBIENT TEMP 77° (79°)—PORTABLE UNIT
INFRARED LAMP TEST	3M TEST METHOD
REFLECTANCE (BRIGHTNESS)	ASTM E1540—COLOR FLEX® IZ INSTRUMENT*
QUV WEATHERING	1000 H—PROPRIETARY METHOD
DPUR	EMT PICK-UP RESISTANCE (24 H DRY 0.010 TO 10 MICRONS/5/420-30/S40)

표 4.

SAMPLE	THERMAL EMITTANCE	TOTAL SOLAR REFLECTANCE	SOLAR REFLECTANCE INDEX (SRI)*	CALCULATED ROOF SURFACE TEMP (°C)
CaCO ₃	0.93	0.856	108	41.4
GB3	0.92	0.887	113	39.8
GB1	0.92	0.887	113	39.8
CMB	0.93	0.811	102	43.8
GB2	0.91	0.873	111	40.6
COMMERCIAL	0.93	0.823	104	43.2

표 5.

IR LAMP TEST SAMPLE	OVERALL AVG. TEMP (°F)	AVG. TEMP AFTER 40 MIN	Δ (°F) FROM CaCO ₃
CaCO ₃	154.4	167.9	REFERENCE
GB3	145.6	158.3	-9.6
GB1	149.6	161.0	-6.9
CMB	155.6	168.3	+0.4
GB2	150.5	161.3	-6.6
COMMERCIAL PAINT	161.9	175.9	+8.0

3. 논의 및 결과

1) 불투명도, 윤기, 두께

불투명도는 모든 샘플들에 대해 99-101의 범위를 가진다. 이 연구에서 사용되는 15-20mils의 두꺼운 필름에서 저 레벨의 TiO₂(2.3vol%) 수준으로 제형하는 것은 가능하다. 또한 허용되는 기질 은폐력은 여전히 유지된다. 상업적 페인트, 탄산칼슘, CMB에 대한 상대적인 초기 반사율은 GB1=92.7, GB2=87.7, GB3=89.1이고 이 값들은 유리거품의 샘플보다 훨씬 더 낮은 값으로 초기에 더 밝고 흰 외관을 나타냈다.

2) 태양반사율

총 태양반사율은 Perkin Elmer Model 950 분광광도계를 사용함으로써 측정되어진다. ASTM method E903/G173 그리고 수학적 프로그램은 다양한 기질에서 각 코팅에 대한 TSR을 획득하기위해 계산기에서 사용되었다. 결과는 [fig.1-3]에 나타나있다.

전반적으로 알루미늄과 백색기질에서 TSR값이 80%이상의 값을 가짐으로써 모든 샘플들의 태양반사율이 잘 나타났다. 특히 GB3 등급은 매우 잘 나타났으며 TSR 값은 가시영역과 IR영역근처에서 잘 나타났다. 유리거품등급에서의 강도는 중요한 선택요소이다. 그래서 버블파손강도는 반드시 중요한 요소이므로 구체적인 공정 조건하에서 평가되어질 필요가 있다. GB3은 보다 작은 사이즈와 보다 큰 강도를 제공한다. 그러므로 이것은 스프레이 타입으로 적용하면 사용하는 제조자들에게 더 좋을 것이다.

3) 열방출 테스트

방사율 시험은 스테인리스 철로 된 보정칩과 함께 휴대용 장치를 사용함으로써 시험되었다, 결과는 [fig.5]에 나타나있다. 모든 방사율은 시험된 샘플에 대해 90%이상의 값을 나타낸다. 데이터는 태양열 방사 수치 계산기에 입력되고 전체 결과는 [표4]에 나타나 있다. 이론적으로 계산된 지붕 표면 온도도 각 SRI값에 포함된다.

가장 높은 반사값과 지붕 표면 온도 값이 가장 낮은 데이터는 유리거품의 물질과 같이 얻어진다.

이 연구에서 가장 큰 버블(GB1)과 가장 적은 버블(GB3)은 태양열 반사와 방사율에 대한 유사한 결과를 나타냈다. 그러나 GB1은 고르지 않은 결과가 나타났고 GB3 샘플과 비교하면 약간 딱딱한 표면을 산출했다. 건조된 페인트의 필름을 SEM촬영 하였을 때, 버블 파쇄강도의 퍼센테이지가 GB1 필름에서 GB3에 비해 다소 높게 나타났다.

FIGURE 1—Solar reflectance on white Leneta paper.

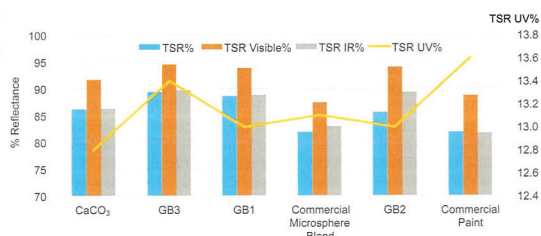


FIGURE 2—Solar reflectance on black Leneta paper.

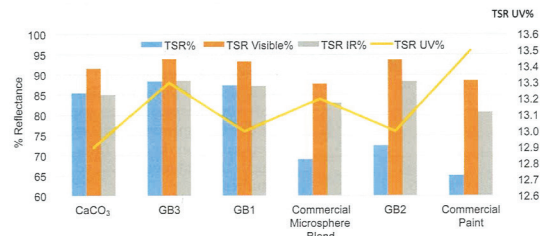


FIGURE 3—Solar reflectance on 3003 aluminum.

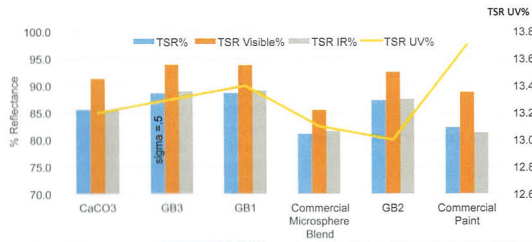


FIGURE 4—Cumulative solar reflectance spectral curves.

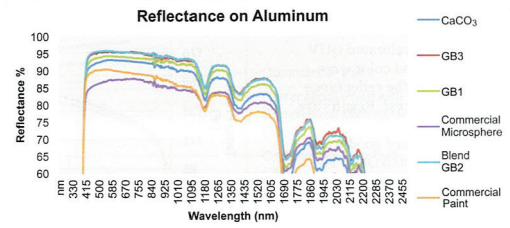
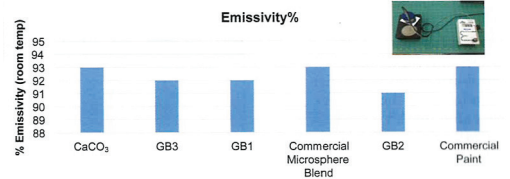


FIGURE 5—Emissivity test results.



4) 적외선 열 램프

실험실 실험은 이런 태양열 반사 페인트의 열적인 이점을 건축물들의 내부지붕온도에서 증명하기 위해 개발시켰다. 3003 알루미늄 페인트 판들은 1시간 동안(1주기)/250W/R40리플렉터/120V 적색 열 램프 전구에 노출시켰다. 샘플들 6×5cm로 잘라졌고, 전구는 기질(얇은 판)로부터 10cm 떨어진 곳에 놓았다. thermo couple(두 종류의 금속을 조합했을 때 접합 양단의 온도가 다른 두 금속 사이에 전류가 흐름.)과 logger(데이터 이력기)는 thermo couple을 위해 작은 구멍을 가진 세라믹 판 위에 놓여진 알루미늄 칩의 뒷면에 부착되었다. 40분 ~ 1시간 동안 수집된 온도 값은 [표5]에 나타났다.

모든 유리 거품 수정 페인트는 이 연구에서 평가 된 다른 페인트보다 평균 온도가 5-10°F 낮다. 경우에 따라 서는 시판되는 페인트 시스템과 비교했을 때 온도차이가 15-20 °F 만큼 높기도 한다.

5) GB3 하중의 PVC 연구

GB3은 가공 및 외관적 이점 이외에도 태양 및 열 반사에 대해 몇 가지 흥미로운 특성을 보여준다. 두 번째 연구는 동일한 속성에 더 높은 기포 하중과 낮은 기포 하중이 미치는 영향을 평가하기 위해 수행되었다. 28과 55pvc에서 2가지 페인트가 추가적으로 제조되었고 이들은 건조 페인트 필름의 20 및 50% 부피에 해당한다.

결과는 [표6]에 나타났다. SRI값에서 유의해야할 차이는 없지만 적외선 램프 테스트를 이용한 연구는 [fig.6]에서 나타난 것처럼 증가된 거품의 하중이 증가하면서 전반적인 후면 온도가 낮아진다는 것을 나타낸다.

거품의 하중에 따라 온도는 다양했고 탄산칼슘 충전제가 함유된 페인트보다 7-15°F 더 시원하다.

FIGURE 6—IR heat lamp test curves for Glass Bubble 3.

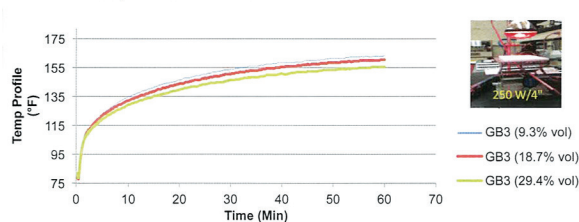


표 6.

SAMPLE	VOL % WET	VOL % DRY	PAINT PVC	THERMAL EMITTANCE	TOTAL SOLAR REFLECTANCE	SRI
GB3	9.3	20	28	0.93	0.879	112
GB3	18.7	35	45	0.93	0.887	113
GB3	29.4	50	55	0.92	0.883	112

6) 촉진내후성

알루미늄 페인트/도장 판넬은 1000시간의 QUV 촉진내후시험을 받았다. 24 시간 DPUR 시험 후 반사율과 더불어 광택과 색상이 측정되었다. 결과를 [표7]에 나타낸다.

모든 페인트들은 우수한 내후성을 나타냈다. 탄산칼슘 및 상업용 페인트로 사용되는 샘플들은 상대적으로 가장 큰 광택 손실을 나타냈다. 1.57의 DE(선량당 량_Dose equivalent)를 가지는 상업용 페인트를 제외한 모든 샘플에서 최소한의 색변화가 나타났다. 이 상업용 페인트들의 대부분은 황색지수(Db)에서 유래된 것이다. GB3는 시험 후 가장 낮은 DE와 가장 높은 반사율을 나타냈다. 따라서 시각적으로 가장 깨끗하고 밝은 외관을 가진다. 입자의 크기가 커지면 더러운 먼지가 잘 흡착되므로 견식으로 먼지 테스트를 한 후 반사율을 낮추는 것으로 추측된다. GB1과 CMB는 사이즈 때문에 가장 거친 표면 모습을 보였다.

표 4.

SAMPLE	% 60° GLOSS LOSS	TOTAL COLOR CHANGE (DE)	DPUR (% REFLECTANCE RECOVERY AFTER QUV AND 24-H DRY DIRT TEST)
CaCO ₃	38	0.40	96.2
GB3	0	0.27	97.0
GB1	0	0.45	94.5
CMB	4	0.42	96.2
GB2	0	0.37	95.2
COMMERCIAL PAINT	19	1.57	95.5

7) 추가실험 : 유리첨가제를 넣은 후 사용

최종 실험으로서, GB3 및 CMB는 젖은 페인트상태에서 대략 18%의 수준으로 상업용 페인트 샘플에 첨가되었다. 샘플은 태양 반사율 및 열 비교에 대해 이전에 기술 된 것과 동일한 방식으로 시험되었다. 결과는 [fig. 7]과 [fig. 8]에 나타났다.

전반적으로 유리 거품(GB3)을 추가하면 태양 반사율과 열 특성을 향상시킬 수 있다는 결론이 도출된다. 이 기사는 외부 구조물의 태양 반사의 이점에 대해서만 설명하고 내부 코팅 시스템의 절연성 이점은 고려하지 않는다는 점에 유의해야 한다.

모든 등급의 유리 거품이 프로펠러 유형 블레이드를 사용하여 저속 교반 하에 첨가되었다. 이전의 연구에 따르면 고전 단형 교반 장치에서 유리 거품을 추가하면 파손율이 높게 나타났다.

FIGURE 7—IR heat lamp test results for post addition of fillers to commercial paint.

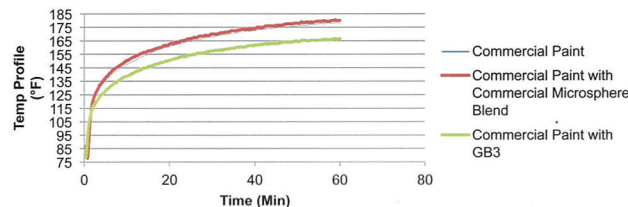
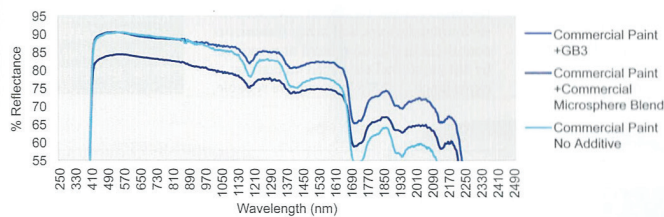


FIGURE 8—Cumulative solar reflectance spectral curves for post addition of fillers to commercial paint.



8) 에너지절약

다양한 에너지 절약 계산기가 "차가운 지붕" 코팅과 관련된 잠재 에너지 절감을 평가하기 위해 개발되었다. 그러한 계산기들 중 하나는 다음 웹 사이트에서 찾을 수 있다.

<http://web.ornl.gov/sci/roofs+walls/facts/CoolCalcEnergy.htm>.

이것은 사용가능한 비용계산기의 한 샘플에 불과하다는 점에 유의해야한다. 운영자는 R값, SR, 적외선 방사율, 에너지 비용, 장비의 효율성 및 지리적 위치와 같은 특정한 데이터 값을 입력해야하며 컴퓨터 모듈은 가열 및 냉각 요인에 따라 연간 절감액을 계산한다. 이 계산기는 주로 경사가 완만한 지붕에서 사용하며 결과는 검은 지붕과 비교하여 잠재된 연간 절감액으로 표시한다. 포뮬레이터는 원료의 비용과 잠재된 에너지 절감액을 고려하여 최적의 배합 매개 변수를 결정해야한다. 이 연구에서 증명된 물질의 예를 [표8]에 나타내었다. 이 예에서 R값 10을 사용하고 공조 효율 2를 사용했다.

4. 요약

이 연구에서, 일반적으로 모든 흰색 페인트들은 산업계에서 수용 가능한 초기 태양 반사율 지수 값을 보여주며 검은 지붕에 비해 다양한 수준의 잠재적 절감 효과를 제공하였고 유리 거품으로 만든 페인트는 잠재된 에너지 절감 효과를 나타낼 수 있었다.

이 연구는 연신율, 내수성(물저항성) 등과 같이 수용성 탄성중합체 옥시 코팅을 충족시키는 다른 매개 변수를 고려하지 않았다. 따라서 최종 형성물은 고객의 요구에 따라 모든 특성에 대해 테스트되어야한다. 새로운 연구는 실제 실외 날씨로 테스트한 후에 최소 SRI 값을 유지할 것을 제안했다.

유색 페인트의 태양 반사율에 대한 유리 거품의 영향과 같은 연구는 향후 다양한 연구의 기초가 될 수 있다. 이 연구에서 백색 탄성중합체 페인트는 산업 분야에서 사용되는 것과 같은 경사가 낮은 지붕을 타겟으로 잡아야한다.

유리 거품으로 만든 백색 탄성중합체 아크릴 지붕 코팅제는 이러한 코팅에 사용되는 다른 필러에 대한 대안을 공식 업체에 제공할 수 있다. 더 작은 유리 거품은 증가된 태양 반사율 및 열적 이점을 제공하며, 이는 결국 에너지 절감을 가져올 수 있고 또한 에어리스 스프레이와 같은 고압 적용에 유리할 수 있는 높은 강도를 제공한다. 기포가 작을수록 더 매끄러운 외관과 좋은 내성을 가지므로 이러한 이점은 특정 적용 및 제재를 위해 각 공식 업체가 평가되어야한다.