

고무 배합과 Nano-Technology

엄기용

1. 서론

21세기 기술로서 기대되고 있는 nano-technology에 있어서 고무재료와 관련 기술이 어떤 역할을 할 수 있을지를 생각해 볼 때, 배합을 중심으로 한 기존 기술을 어떻게 활용하고 어떻게 발전시킬지가 중요하다. 예를 들어 nano composite 개발의 경우, 요구되는 배합 및 혼련 기술 수준을 고려한다면 고무관련 기술자가 가장 유리한 위치에 있다고 말할 수 있는데 이러한 기존 고무배합의 nano-technology로서의 발전 가능성을 살리는 첫 걸음으로 nano-technology에 대해 간략하게 기술하기로 한다.

2. 고무재료의 동향

21세기 초 현시점에서 고무 재료에 관해 아래와 같이 4개의 동향이 있다고 할 수 있다.

1) 천연고무(NR)은 21세기에 있어서도 필수 재료로서 계속 사용될 것이다. 그리고 NR은 자연에서 얻어지는 biomass임이 매우 중요한 주목 요소이다. 하지만, NR에 있어 문제점 중의 하나는 공급에 비해 수요의 증가가 더 크기 때문에 공급부족이 나타날 것이다.

2) 열가소성 탄성체(TPE)에 대한 수요와 공급이 계속 증가될 것이다. 만약 에틸렌과 다른 올레핀 중합에 있어서 새로운 촉매가 금세기 초에 성공적으로 개발된다면 폴리에틸렌을 기초로 한 열가소성 탄성체는 비타이어 제품군에 있어서의 가장 우선 순위가 되는 재료가 될 것이다.

3) 할로젠을 포함하는 고무는, 특히 선진국에 있

어서 환경적인 문제에 기인하여 많이 사용되지 않을 것이다. 환경문제에 대한 이슈는 점점 중요하게 될 것이고 이런 환경문제를 고려하는 것은 고무 산업에 있어 시급한 문제이다.

4) 고기능성을 갖는 탄성체는 높은 생활 수준에 맞게 개발되고 상업화 될 것이다. 특히, 관련 nano-technology는 향후 개발되어질 많은 재료의 필수 기능성으로서 고무 탄성을 사용하게 될 것이다.

이러한 동향은 장기적으로는 변할 수 있다고 하더라도, 현재 재료 설계시에는 고려되어야 할 부분이다.

현시점에서 좀 더 살펴볼 경우, 당면 과제로서 아래의 4가지를 들 수 있다.

- 1) 가교반응과 고무탄성에 대한 이론적 연구
 - 2) 내구성과 열적 안정성 등에 있어서 고성능을 보여 줄 수 있는 신규 합성고무에 대한 새로운 중합법
 - 3) 보다 합리적인 고무 제품 디자인을 위한 mixing과 compounding에 대한 과학적 방법론
 - 4) 탄성체에서의 구조와 물성과의 관계 정립
- 세 번째 과제는 배합과 가공에 있어서의 방법론



엄기용

1996 경북대학교 고분자공학과 졸업 (학사)
 1998 경북대학교 고분자공학과 졸업 (석사)
 1998~ 현재 한국신발피혁연구소 산업재료연구팀 팀장

의 정립에 관한 것으로 nano-technology가 나오기 이전부터의 일인데 바꿔 말하면 nano-technology로의 발전을 통해 이들 과제에 대한 해결이 가능하게 된다고 볼 수 있다.

고무와 nano-technology의 관계를 살펴보면, nano-technology를 발판삼아 고무과학의 급속한 발전을 이뤄야 한다고도 할 수 있고, 고무에 있어서의 nano-technology의 발전은 nano-technology의

내용을 보다 심도있게 만들고 전체적인 nano-technology 발전에 크게 기여한다고도 할 수 있다.

3. Nano-technology의 급부상 배경

Nano-technology의 폭발적 유행이 나타나기까지의 과정을 연대표로 표 1에 나타내었는데 가장 큰 사건은 2000년 1월 미국 클링턴 대통령에 의한 NNI(National Nanotechnology Initiative) 발표로서

표 1. Nano-technology 관련 연대표

1959년	Weinman, 미국물리학회에서의 연설 “There is plenty of room at the bottom : An invitation to enter a new field of physics”
1981년	K. Eric Drexler, “Molecular Engineering : An Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation”
1980년대	일본 통산성 『차세대산업기술연구개발』, bio, electronics, 신소재 등 3분야. 90년대 주사형 터널현미경의 보급 (STM, AFM,...⇒ Nanoscope!)
1996년	“Nanostructured Materials” 특집호, Chemistry of Materials, 8, no.3 (ACS)
1999년 6월	“Nanocomposites-Smaller size equals better performance” Chem.& Eng. News, June 7 (ACS)
1999년 7월	일본 경제 단체 연합회 『일본산업 경쟁력 강화를 위한 제2차 제언-『산학관 공동 프로젝트』구상 추진과 인프라 정비를 중심으로』
2000년 1월	“National Nanotechnology Initiative”, 클링턴 대통령이 NNI를 국가전략으로 하고 3년간 12.11억달러의 연구개발비를 계상. 이와 함께 클링턴 대통령이 「Nano-technology의 성과는 수십년 후에 나타날 수도 있지만 그렇기 때문에 미국에 있어서 매우 중요한 것」이라고 발언
2000년 5월	일본 경제 단체 연합회 제언 「수요와 공급의 새로운 순환 실현을 위한 선언-21세기형 leading 산업분야 창출」 이 이후 일본에서는 일본 경제 단체 연합회가 nano-technology의 리더 역할을 함
2000년 7월	『21세기를 노크하는 nano-technology : nano-technology에 관한 일본 경제 단체 연합회 사고 방법』
2000년 10월	일본과학기술회의, 『Nano-technology의 전략적 추진 방책에 대한 간담회』
2000년 10월	“Nanotechnology-AC&EN Special Report”, Chem.&Eng. News, Oct. 16 (ACS)
2001년 1월	일본 종합과학기술회 발족, 월별과학기술보고 실행, 3월 22일에 「Nano-technology 재료분야 최신 동향」이 주제로 선정. 이것에 의해 nano-technology는 일본 국책의 하나가 됨
2001년 3월	일본 경제 단체 연합회 제언 「Nano-technology가 만드는 미래 사회<n-Plan 21>」
2001년 3월	『제2차 과학기술기본계획』 일본 내각회의 결정
2001년 5월	『Nano-technology와 고분자』, 고분자, 50, 5월호 (고분자학회, 일본)
2001년 9월	일본 종합과학기술회의, 『분야별추진 전략』 보고서
2002년 1월	『Nano-technology의 충격-일본경제를 구하는 key technology』(일본 일간공업신문사) 구조개혁이 진행되지 않고 있는 현실에서 nano-technology에 경기회복의 기대가 걸려 있다. Nano-technology는 구원의 신이 될 수 있을까?
2002년 4월	『특집 nano composite』, 일본 고무 협회지, 75, 4월호 (일본고무협회)
2002년 8월	일본고무협회 『고무와 nano-technology』 조사위원회 발족
2003년 3월	일본고무협회 『Nano-technology』를 주제로 한 기술 포럼 공개강연회 개최

이것은 nano-technology가 내재적인 연구 발전단계에 의한 것이라고 하기 보다는 국가전략이라는 사회적 외부 요인에 의해 급부상한 측면을 부정할 수 없는 것을 나타내고 있다.

4. Nano-technology와 고무

4.1 Nano-technology의 정의

Nano-technology의 정의는 아직 명확히 확립되지 않았다고 할 수 있다. 미국국립과학재단의 연구를 간략하게 살펴보면, 일본에서는 nano-technology란 용어가 미래의 전자 공학 기술에 있어서는 나노구조의 구성이나 nanometer 수준의 측정 장비 개발에 있어 자주 사용되고 있고 유럽에서는 원자나 분자를 직접 컨트롤하는 것으로 규정되어 있다고 보고하고 있다. 그리고 미국국립과학재단의 World Technology Evaluation Center의 연구에서는 새롭고 향상된 특성 개발에서 유도되는 기술이라는 의미와 원자/분자 과 bulk의 중간 수준(0.1~100 nm)에서의 특별한 현상과 공정이라는 의미를 모두 포함하는 용어로서 사용하고 있다.

따라서, 현시점에서는 nano-technology의 정의에 대해 엄밀한 필요는 없고 지금까지 해온 대로 원자, 분자 수준에서의 접근(bottom up), 또는 이미 nano-technology에 있어 당연히 여겨지는 micron order(μm)로 부터의 접근(top down), 혹은 어떤 수단을 택하더라도 나노미터 (nm)의 기술로만 생각된다면 충분하다.

4.2 Nano-Composite

Nano-technology의 애매함에 비해 nano-composite의 개념은 상대적으로 명확하고 또한 고무와 가장 관련 있는 부분이 nano-composite이기 때문에 고무와 nano-technology와의 연관성은 nano-composite를 중심으로 생각해야 한다고 해도 과언은 아니다.

고무 blend와 고분자 alloy에 있어 분산상의 크기는 중요한데 나노사이즈의 분산에 의해 탄생한 SBS, SIS 등의 열가소성 탄성체(TPE)는 이미 고무 산업에서 한 자리를 차지하고 있고 TPE는 mi-

cron 상분리 구조의 규명과 같이 고분자 과학에 있어서 하나의 중심적 과제가 되어 있다. 그리고 TPE에 관한 지금까지의 성과는 모두 nano-technology 혹은 nano-science의 범주에 있는데 현재의 유행에 편승해 그 이름만 바뀌어 불려지는 경우가 있기는 하지만 과학적으로 아무런 의미가 없다.

카본블랙, 실리카 등 고무용 보강성 첨가제로서 사용되고 있는 것은 전부 나노미터 사이즈의 filler로 최근 nano-filler로 불리는 것도 있는데 이런 nano-filler를 사용해 reactive processing(가교)에 의해 제조되는 고무 가교물을 전부 nano-composite라고 할 수 있다. 각종 카본블랙을 이용해 혼련 방법 및 가공 공정의 설계를 통해 제조되고 있는 타이어는 nano-composite의 전형적이 예라고 말할 수 있다. 이상에서 볼때 종래기술(노하우를 포함해서)의 재검토를 통한 nano-technology로의 응용은 가장 우선시 되어야 할 과제라 할 수 있다.

4.3 Filler를 중심으로 한 배합 기술

재료개발에 있어서 nano-technology로서 2가지의 카테고리를 생각해 보는 게 유효하다. (표 2)

Passive nano-technology는 기존 시스템을 따르는 형태에서의 재료 개발로서 종래의 기반기술을 살린 nano-technology로 말할 수 있다. 따라서 즉효성이 있는 연구개발이 가능하고 예측이나 전망을 설정하기 쉬워 비용과 위험부담 측면에서 유리하다.

표 2. 재료분야에서의 2가지 nano-technology

Passive nano-technology	이미 일정 수준 시장이 형성되어 있음
	외부 삽입형 연구개발이 유효
	종래 기반기술을 살려 단기적 결전이 가능
Active nano-technology	새로운 재료 창조에 대한 의욕이 필요
	시장이 광범위하고 장기적으로 이어질 가능성 있음
	혁신형 연구개발이 필요
	장기적 연구와 시야가 필요
	예측 불가능한 재료 출현가능성 있음

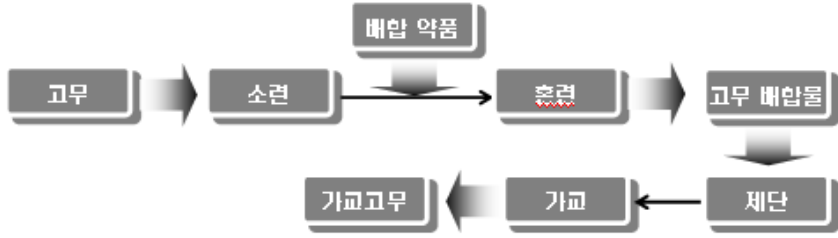


그림 1. 고무 가교물의 가공 공정.

한편, [Active nano-technology]는 seeds형 연구개발로서 장기적인 시야에서 본 nano-technology이다. 그 때문에 새로운 개념의 신재료가 나타날 가능성은 있지만 불확정적인 요소도 크다. 이들 2가지의 nano-technology는 카테고리형태로서 나뉘어야 하는 것이 바람직하긴 하지만 이를 바탕으로 하여 상호간에 함께 발전할 수 있는 유연한 사고방법과 그것을 가능케 하는 시스템을 만드는 것이 필요하다.

고무 가교물에 있어서 nano-composite 제조는 그림 1에 나타난 것 같은 가공 공정을 거친다. 통상적으로 생고무는 소련공정을 통한 후 각종 배합제를 첨가해 혼합한다. 배합제의 종류는 표 3에 나타난 것같이 매우 많지만 이들 중 가교제와 함께 filler로 불리어지는 첨가제의 배합이 중요하다. 표 4에 대표적인 고무용 보강성 filler의 예와 그 형상에 관해 나타내었다.

고무용 filler로서 입자상인 카본블랙과 실리카는 이미 오래전부터 사용되고 있고 있는데 카본블랙의 입자경은 표 5에 나타내어 놓은 것처럼 11 nm ~ 100 nm의 범위에 있기 때문에 앞에서 언급된 nano-filler의 한 예이기도 하다.

카본블랙의 입자는 적층에 의해 구성된 작은 결정의 집합체로서 그림 2에 나타낸 것 같이 입자끼리 표면의 분자간력에 의해 응집된 구조를 취하고 있다.

Nano-technology기술로서 활발하게 연구되고 있는 풀러렌(fullerene)과 카본 나노튜브가 나노오더의 입자경을 갖는 카본블랙의 탄소동소체로 볼 수 있다는 사실로부터 고무관련 연구자는 지금까

표 3. 고무용 배합제의 종류

1. 고무
2. 가교제 (황, 황공여체, 과산화물, 금속산화물 등)
3. 가교촉진제
4. 가교조제, 가교촉진조제
5. 스코치 방지제, 가교지연제
6. 노화방지제 (산화방지제, 오존노화방지제, 왁스류 등)
7. 안정제
8. 가공조제 (소련촉진제, 윤활제, 희석제, 이형제 등)
9. 충전제 (카본블랙, 실리카, 탄산칼슘 등)
10. 가스제, 연화제
11. 분산조제
12. 착색제 (안료, 색소 등)
13. 특정용도 시약 (점착부여제, 발포제, 난연제, 점착조제, 향료, 살균제 등)

표 4. 고무용 Filler

형상	실 제 예
입자	카본 블랙, 실리카, 탄산칼슘, 탄산마그네슘, 황산바륨, 클레이, 탈크, 산화아연, 산화티타늄, 금속분말, 수지분말, 가교고무분말 등
단섬유	유리섬유, 탄소섬유, 금속섬유, 셀룰로오즈, 나일론, 폴리에스테르 등
Flake	Mica, Graphite, Ferrite 등

지 nano-technology를 사용하고 있었고 고무 matrix안에서 카본블랙의 분산성과 표면특성을 이용하고 있다고 말할 수 있는데 이러한 것들에 앞에 기술한 [Passive nano-technology]의 범주에 포함된다고 할 수 있다.

다이아몬드, 카본블랙에 이어 제 3 혹은 제 4의 탄소로 불리는 풀러렌은 구조특성이 특이한 nano-

표 5. 카본블랙 종류와 명칭

		일반 명칭	입자경(nm)	ASTM code
고무용	furnace	SAF (Super Abrasion Furnace)	11~19	N100
		ISAF (Intermediate Super Abrasion Furnace)	20~25	N200
		HAF (High Abrasion Furnace)	26~30	N300
		FF (Fine Furnace)	31~39	N400
		FEF (Fast Extrusion Furnace)	40~48	N500
		GPF (General Purpose Furnace)	49~60	N600
		SRF (Semi-Reinforcing Furnace)	61~100	N700
		CF (Conductive Furnace)		
	thermal	FT (Fine Thermal)	101~200	N800
		MT (Medium Thermal)	201~500	N900
안료용		HCC (High Color Channel)	15이하	
		HCF (High Color Furnace)	15이하	
		MCF (Medium Color Furnace)	15~25	
		LFF (Long Flow Furnace)	27~30	
		RCF (Regular Color Furnace)	25~30	
전지용		Acetylene Black	35~45	

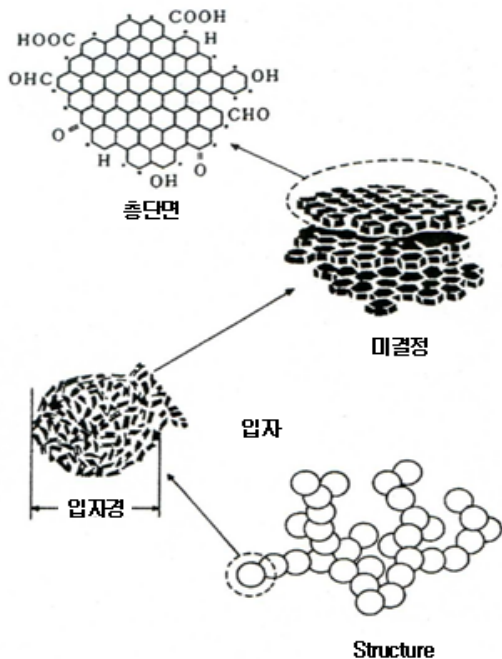


그림 2. 카본블랙 구조모델 그림.

filler로서 기대되고 있는데 축구공으로 비유되는 C₆₀ 풀러렌의 구조를 그림 3에 나타내고 있다.

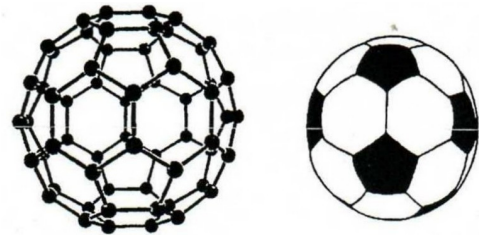


그림 3. C₆₀ 풀러렌과 축구공.

풀러렌의 특징으로는 구형으로 그 내부에 원자를 비롯하여 다른 것들을 다양하게 포함할 수 있다는 것과 열적으로 매우 안전하지만 최저비점유 분자궤도(LUMO)가 낮은 에너지 레벨에 있기 때문에 화학적으로는 반응성을 풍부하다는 것을 들 수 있다.

그림 4에 단층 카본나노튜브의 원통형태의 3가지 구조를 나타내고 있다. 카본나노튜브는 그래파이트 시트(그래핀 시트)가 원통상으로 등글게 되어 있는 형태로서, 단층은 한 장의 그래핀 쉬트가 원통상으로 되어 있어 있다고 볼 수 있고 직경이 1~2 nm, 길이는 수 μm에 해당되고 그 양쪽 끝은 풀러렌 반구로 막혀있는 것과 열려 있는 것 등이

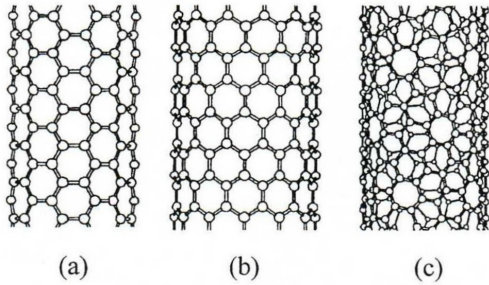


그림 4. 단층 카본나노튜브의 3가지 구조.
(a) armchair형 ; (b) zigzag형 ; (c) Chiral 형

있다. 한편 다층의 카본나노튜브는 층층이 그라핀 쉬트가 둥글되 되어 있는데 외경이 수십nm, 내경이 1~10 nm인 것이 많다. 주의해야하는 부분은 통상 카본블랙과 같이 카본나노튜브도 분자간력에 의해 100개에서 200개가 묶여져 있고 micron order의 고차구조를 가고 있는 것도 있다는 점이다.

표 6에서는 각 분야에 있어서 카본나노튜브의 응용 예를 나타내고 있는데 카본나노튜브에는 6~7 wt%의 수소저장성이 확인되고 있어 연료전지의 응용도 기대되고 있다. 또한 튜브의 aspect ratio와 나선구조의 변화에 의해 도전율이 연속적으로 변화하는 것이 확인되어 나노사이즈의 구조 제어에 의해 신규물성의 발현도 기대되고 있다.

한편, 카본블랙과 마찬가지로 filler로서 지금까지 이미 사용되고 있는 실리카의 물리화학특성을 표 7에 나타내었다. 건식법 실리카는 입자경이 7~50 nm이고 습식법 실리카도 수십nm이기 때문에 커플링제를 함유한 실리카 배합개발은 [[Passive nano-technology]의 영역이라고 할 수 있다. 실리카의 경우는 filler간 상호작용이 카본블랙의 경우보다 크기 때문에 분산불량이 가장 큰 문제인데 이를 해결하기 위해 커플링제의 활용에 관련된 연구가 활발히 진행되고 있고 이러한 배합기술은 nano-composite의 개발에도 유용할 것으로 생각된다.

그 외에 filler와 보강성제로서 탄산칼슘을 비롯하여 다양한 백색 충전제가 있는데 그것들의 입자경도 현재 micron order 혹은 submicron order의 것들이 많다. (표 8)

표 6. 카본나노튜브의 응용분야

분야	응용
복합재료	수지 강화, 전도성 복합재료, 세라믹 강화, 금속 강화, C/C 복합재료
전자재료	전지 전극, 전기이중층 콘덴서(수퍼축전기)
전자소스	전계방출형 전자소스, flat panel display
Nano-technology	주사터널현미경 탐침, nano-whisker, nano-rod
Bio technology	바이오센서, 주사침
의약	캡슐 (약의 생체내 수송과 방출)
에너지	수소저장, nano-bombe
화학	촉매 및 담체, 유기화학 원료, nano-chemistry

표 7. 건식법 및 습식법 실리카의 물리적 특성

항목	건식법 실리카	습식법 실리카
BET 비표면적 (m ² /g)	100~500	40~300
pH	4.0~4.5	5~10
가열감량 (%)	< 1.5	<8.0
강열감량 (%)	< 2.0	<12.0
흡유량 (ml / 100g)	-	100~300
부피비중 (g/l)	50~120	100~300
1차 입자 크기 (nm)	7~50	15~100
Al ₂ O ₃ 함량 (%)	<0.01	<0.7
CaO 함량 (%)	<0.01	<0.01
Na ₂ O 함량 (%)	<0.01	0.6~2.5
Fe ₂ O ₃ 함량 (%)	<0.01	<0.04
SO ₃ 함량 (%)	-	0.5~2.5
Cl 함량 (%)	<0.025	-

이들 백색 filler와 표 9에 나타난 기능성 filler가 top down법에 의해 나노 입자화시킬수 있는 기술등을 통해서 nono-filler로서의 의미를 갖게 된다면 [Active nano-technology]의 범위에 들어간다고 할 수 있다. 그리고 이들 nano-filler의 입자 크기, 형상, 그리고 더욱 큰 order 상태의 고차 구조 형태를 이용하는 방법 등에 의해 장기적인 안목으로 고무기술을 nano-technology로 발전시켜야 한다.

표 8. 백색 Filler와 그 특성

분 류		명 칭	비중	굴절율	입자크기(μ)	입자형태
탄산칼슘	천연품	호분	2.7	1.49~1.66	1~10	박편상
		쵸크	2.7	1.49~1.66	0.3~10	부정형
		중질탄산칼슘	2.7	1.49~1.66	0.3~10	부정형
	합성품	경미성탄산칼슘	2.6	1.49~1.66	0.5~6	방추형·기둥형
		극미세탄산칼슘	2.6	1.49~1.66	0.02~0.1	입방형
탄산마그네슘	합성품	염기성탄산마그네슘	2.2	1.50	0.5~2	박편상
칼슘 · 마그네슘 탄산염	천연품	돌로마이트(백운석)	2.8	1.62	0.5~10	부정형
	합성품	특수탄산칼슘	2.4	1.62	0.5~3	부정형
규산염	천연품	카오린	2.6	1.55	0.2~5	육각판상
		소성클레이	2.6	1.60	1~5	판상
		파이로피라이트(납석)	2.8	1.60	0.5~5	박편상
		벤토나이트(팽윤토)	2.5		0.2~3	박편상
		세리사이트(경운모)	2.8	1.58	0.5~5	박편상
		제오라이트(비석)	2.1	1.48	0.5~15	판상
		네페틴사이나이트(장석)	2.6	1.53	0.5~8	판상
		탈크(활석)	2.8	1.57	0.2~8	판상·침상
		에티펠자이트	2.4		0.1~20	침상
	윌라스토나이트(규회석)	2.9	1.63	5~10	침상	
	합성품	합성 규산 알루미늄	2.1	1.4~1.5	0.02~0.05	구상
		합성 규산 칼슘	2.1	1.5~1.6	0.02~0.1	박편상
규산	천연품	규조토	2.1	1.4	2~10	부정형
		규석분	2.6	1.5		부정형
	합성품	함수미분규산	2.0	1.4~1.5	0.02~0.05	구상
		무수미분규산	2.1	1.5~1.6	0.01~0.05	구상
알루미늄 수화물	합성품	수산화알루미늄	2.4	1.53	0.1~1	판상
황산바륨	천연품	바라이트	4.5	1.64	2~10	부정형
	합성품	침강황산바륨	4.3	1.65	0.5~2	판상·기둥형
황산칼슘	천연품	천연석고	2.3	1.5~1.6	10~100	부정형
	합성품	석고	2.3	1.5~1.6	3~50	기둥형
아황산칼슘	합성품	아황성칼슘	2.6	1.6	3~10	부정형

표 9. 복합화에 사용되는 기능성 Filler

도전성	금속분말, 박, 섬유, 카본블랙, 도전성산화물(산화주석, 산화아연, 산화몰리브덴, 산화안티몬, 티탄산칼륨), 무전해도금물(산화티탄, 운모, 섬유상도금), 그라파이트, 카본섬유
자 성	페라이트(바륨페라이트, 스트론튬페라이트), 희토류코발트
전파흡수성	카보닐철, 페라이트, 카본, 티탄산바륨
압전성	티탄산 자르콘산염, 티탄산염, 티탄산바륨
집전성	티탄산 자르콘산염, 티탄산염, 탄탈산리튬, 황산글리신
열전도성	산화베릴륨, 산화마그네슘, 알루미늄, 질화규소, 질화알루미늄, 탄화규소
난연성	수산화마그네슘, 수산화알루미늄, 산화안티몬, 주석산아연, 난연제로서의 붕산아연
향균성	인산염계향균제, 규산염계향균제(제오라이트계, 실리카겔계), 유리계향균제, 산화티탄계향균제, 콜로이드상무기향균제

4.4 고무계 nano-composite의 새로운 방향

Nano-technology라는 새로운 흐름에 진입하기 위해서는 종래기술에 어느 정도의 플러스 알파가 요구된다. 예를 들어 표 10에 나타난 카본블랙과 실리카의 특성을 고려해보면 새로운 filler로서 실리카표면처리 카본블랙 제조 및 in situ법에 의한 고무로의 실리카 충전 등 것이 플러스 알파라는 인자로 생각될 수 있다. 그림 5에 천연고무에 있어 습식법 실리카(VN-3)와 in situ실리카의 투과형 전자현미경사진을 나타내었는데 두가지 모두 실리카입자는 20~30 nm의 기본 입자경을 가지고 있는 nano filler이다. 하지만 분산상태를 살펴보면 습식법실리카의 경우 (a)에 나타난 것처럼 cluster화, 더 심하게는 aggregate를 형성하고 있다고 생각되어 지는 것에 비해 in situ실리카의 경우는 20~30 nm의 기본입자가 거의 단독으로 분산되어 있는 것을 볼 수 있다. 3차원 상관측에 의해 분산 상태를 명확하게 판별할 수 있다면 특이한 nano filler 분산계로서, filler 입자표면과 matrix 고분자와의 화학적 관계에 있어서 새로운 발전이 기대된다.

분석적으로 살펴보면 신장결정화가 가능한 가교고무에 대해 싱크로트론 방사광을 이용한 동적 X선회절법에 의한 연구는, 고무 matrix안에 신장에 의해 생성되는 나노미터사이즈의 미결정이 그 대상인데, 충전제를 포함하는 nano-composite로의 전개에 필요한 기초적 연구로 위치를 차지할 수 있다. 표 10에 나타난 것처럼 재료의 나노사이즈화는 양론적 효과를 발현할 수 있게 하고 그러한 발현이 없더라도 무언가의 큰 효과가 기대될 수 있는 경우가 있기 때문에 nano filler를 사용해 고무탄성과 고기능성을 모두 나타낼 수 있는 재료

및 그에 해당되는 디바이스를 개발하는 것은 고무분야 [Active nano-technology]로서 매우 중요하다.

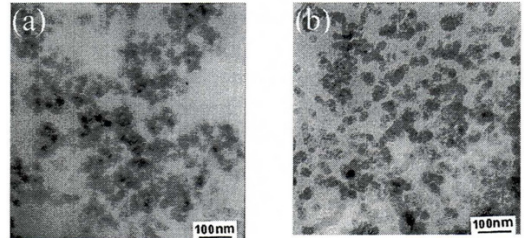


그림 5. 천연고무 가교체에 있어서 (a) 습식법 실리카와 (b) in situ실리카의 투과형 전자현미경 사진.

표 11. Nano scale물질의 성질과 특성의 실제예

	Bulk 상태에서의 성질	Nano scale에서의 성질
탄소 (C)	도전체, 반금속	반도체, 금속, 전자방사, 수소흡수 (카본나노튜브)
실리콘 (Si)	반도체, 발광성 없음	청색 발광 (포라스 실리콘)
이산화규소 (SiO ₂)	절연체, 발광성 없음	청색 발광 (나노와이어, 나노튜브)
금 (Au)	화학적으로 불활성	촉매작용 (CO gas의 산화) (5nm지름의 초미립자)
철 (Fe)	자성재료, 보자력 470 Θ.	보자력 약 5배 향상 (2500Θ.) (20nm 지름의 나노입자)

표 10. 카본블랙과 실리카의 특성 비교

	Wet 제동성 / 저전동저항 균형	내마모성	전기 전도성	가공성	가 격	기 타
카본블랙	○	○	○	○	○	모폴로지가 조절된 제품이 있음
실리카	◎	△	×	×	×	커플링제 사용이 일반적임

5. Nano-technology의 신전개

Nano-technology는 금세기의 특징적인 기술에 모두 깊이 관계하고 있고 그 발전은 수많은 기술들의 진보에 있어 결정적인 요소로 작용할 가능성이 있다. 즉 nano-technology의 전개는 유전자 공학을 축으로 하는 바이오테크놀로지, 인류에 있어 유용하고 한편 친인간적인 로봇의 출현, 학술기능

을 갖는 인공지능 창조 등에 있어서 가장 본질적인 공헌을 할 수 있다. 이러한 관점에서 볼 때 고무재료과학에 있어 고성능 고기능 soft material의 개발은 매우 중요한데 그 중에서도 로봇공학에 있어서 soft material은 필수 재료로서, 역학특성으로 고무 탄성을 갖는 디바이스의 개발이 시급하다.