

고흡수성 고분자에 대하여

강봉서/코오롱유화(주) 기술연구소 연구6팀 대리

목차

1. 개요

2. 구조 및 흡수원리

3. 합성방법

4. 특징

5. 용도

- 5-1 위생재료 분야
- 5-2 농·원에 분야
- 5-3 토목·건축 분야
- 5-4 기타 분야

6. 맺음말

1. 개요

고흡수성 고분자는 물, 체액(혈액, 땀, 소변 등) 또는 염수용액 등의 수성물질을 자중의 100~수천배 흡수, 팽윤하여 하이드로겔을 형성하고, 일단 흡수한 수성물질을 거의 다시 방출하지 않는 특성을 지닌 기능성 고분자를 말한다. 이는 종래 사용되어 왔던 흡수재료인 면, 펄프 등의 대체 재료로 각광받고 있다.

기존의 고분자 합성물질들은 대개 유용성 물질들로, 이것을 이용할 때의 최대 단점인 물과의 친화력이 부족하여 그 응용분야가 한정되었었다. 이러한 단점 때문에 물과의 친화력이 강한 고분자 물질 개발의 노력이 경주되어 왔으며, 그 성과의 하나로 수팽창성, 고흡수성 고분자가 개발되었다.

고흡수성 고분자는 1960년대 미 농무성 연구소에서 옥수수를 이용한 전분계 가수분해물을 개발, 1974년

에 이를 기업화한 것이 최초이다. 그 후 많은 종류의 고흡수성 고분자가 개발되었다. 이를 분류하면 전분-아크릴산 그라프트 중합체 및 전분-아크릴로니트릴 중합체의 가수분해물과 같은 천연물을 이용한 반합성 고분자와 폴리아크릴산 알카리금속염의 가교물, 폴리비닐알콜계, 폴리에틸렌 옥사이드계 등 합성고분자 등이 널리 알려져 있다. 이 중에서 반합성 고분자는 천연물을 원료로 사용하기 때문에 제품의 균일성이 떨어지고 원료 조달의 어려움이 뒤따른다. 반면 합성고분자계는 일정한 원료 SPEC에 따른 제품의 품질 안전성이 우수하고, 원료 조달이 용이하여 최근에는 거의 대부분이 합성 고분자로 제조되는 실정이다.

현재 이의 주요 응용분야는 위생 재료 제품의 펄프 대체품이며, 위생 재료 제품의 경량화, 박형화 및 표면 건조의 향상을 위해 그 사용량은 계

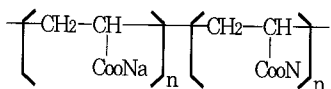
속 증가되는 추세이다.

고흡수성 고분자는 80년대 초, 아기용 종이거저귀에 응용, 적용된 이후 비약적인 성장을 이룩하였다. 현재 전세계의 고흡수성 고분자의 수요는 약 25만톤에 이르고 있으며, 국내에서도 그 수요가 비약적으로 성장하고 있다.

2 구조 및 흡수원리

수용성 고분자를 3차원 가교반응시키면 고분자의 특성은 가교 정도에 의해 수불용성, 수팽창성으로 변화한다. 적당한 가교 밀도를 구성하는 것이 고흡수성 고분자의 토대를 구성하는 것이다. 다양한 종류의 수용성 고분자들이 가교를 통해 수팽창성 고분자로 변화되지만 가장 일반적인 상품화된 고흡수성 고분자는 가교된 폴리아크릴산염(PAAS계)계이다.

폴리아크릴산염계의 기본 화학구조식은 다음과 같다.

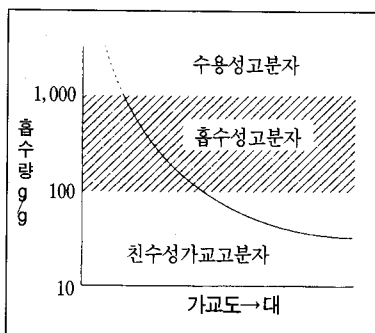


상기 구조의 직쇄형 고분자를 3차원 가교화하면 가교 밀도의 증가에 따라 수용성에서 팽창흡수성, 수불용성 가교 고분자의 순으로 변화된다. 고흡수성 고분자는 수용성 고분자와 수불용성 고분자의 중간에 위치한 적정 가교의 고분자 전해질 물질을 말한다.

이를 흡수력으로 표현하면 (그림 1)과 같다.

그러면 흡수력은 왜 일어나는 것일까? 또한 왜 흡수 후에는 다시 액이 방출되지 않는 것일까? 흡수력에 대한 경험식으로 P. J. Flory에 의해

(그림 1) 가교 밀도에 따른 흡수력



제창된 식이 있다.

$$Q^{\frac{5}{3}} = \left[\left(\frac{1}{2} \times \frac{i}{V_u} \times \frac{1}{S} \right)^2 + \frac{(\frac{1}{2} - X_1)}{V_1} \right] \frac{V_e}{V_0}$$

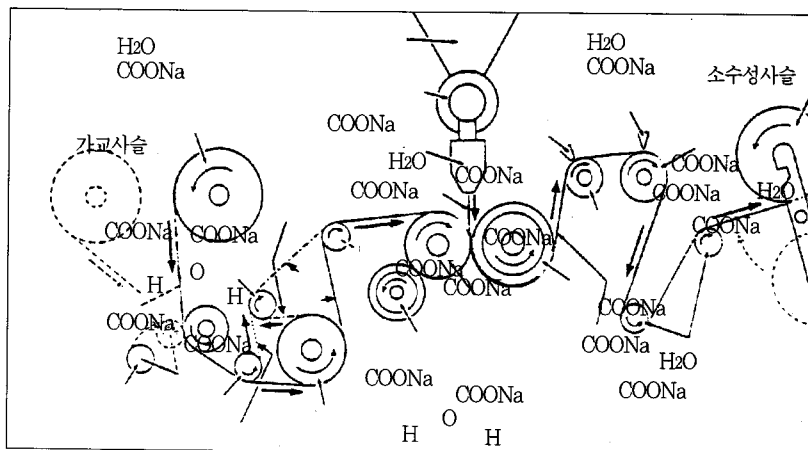
- Q : 흡수력
- $\frac{i}{V_u}$: 가교 사슬에 고정된 전하농도
- S : 외부용액 중 전해질 이온강도
- $\frac{(1 - X_1)}{V_1}$: 가교사슬과 물과의 친화력
- $\frac{V_e}{V_0}$: 가교 밀도

상기 식을 간단히 요약하면 이 된다. 정리하면 흡수력의 부여

$$\text{흡수력} = \frac{\text{이온의 침투압} + \text{고분자 전해질의 물과의 친화력}}{\text{가교밀도}}$$

인자로는 고분자 전해질, 물과의 친화력, 가동이온 농도에 의한 침투압

(그림 2) 고흡수성 고분자의 팽윤 모식도



이 있다. 흡수력의 억제인자로는 가교구조에 기초한 이온탄성력이 있다.

이를 폴리아크릴산염계 고분자의 팽윤모식도(그림 2)로 설명하면 다음과 같다. 다수의 카복실이온을 갖고 있는 고분자 전해질이 수용액 중에 투입되면 이온 간의 반발에 의해 분자사슬이 넓어지기 시작한다. 이와 동시에 고분자 내부의 이온농도가 외부의 수용액보다 높기 때문에 발생하는 침투압에 의해 고분자 내부로 수용액이 흡수되기 시작하고, 이 이온농도와 침투압에 의해 생성된 가교사슬 길이에 의해 어느 정도 흡수, 확장된 후에는 더 이상 흡수되지 않고 수용액을 가두어 두게 된다. 마치 기그물을 활짝 펼친 상태가 되는 것이다. 즉 고흡수성 고분자의 흡수원리는 고분자 전해질과 수용액과 고분자 내부의 가동이온 농도에 의한 침투압 작용, 가교점에 의한 분자사슬의 넓이를 억제하는 작용과의 상호작용에 의해 발현된다.

수흡수성 재료인 펄프와 고흡수성 고분자의 흡수력 및 흡수원리를 살펴보면 다음과 같다.

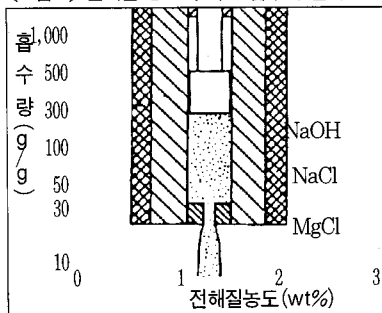
(표 1) 흡수재료별 특성

흡수성 재료	제품형태	흡수력(g/g)	흡수원리
펄프 흡수지	단섬유상 SHEET상	10~20	모세관 현상
고흡수성 고분자	분말상 섬유상 SHEET상	100↑	수화(Hydration) 모세관 현상 삼투압 현상

고흡수성 고분자의 주된 흡수기구는 침투압(삼투압) 현상에 의한 것이며, 이러한 흡수력의 고분자 외부관련 인자로는 수용액의 이온농도가 있다. 외부 수용액의 전해질 이온농도가 높아지면 고분자와 수용액 간의 평형농도로의 도달이 빨라지고, 그만큼 고분자의 흡수력은 떨어지게 된다. 예를 들면 순수한 물의 경우 고흡수성 고분자의 흡수력은 약 1,000배가 되지만 생리식염수(0.9% NaCl 수용액)의 경우는 약 100배 정도까지 낮아지게 된다. 외부용액의 전해질 종류 및 농도에 따른 흡수력의 변화는 (그림 3)과 같다.

흡수된 물의 고분자 내부에서의 상태를 살펴보면 흡수성 고분자에 흡수된 물은 고분자 중량의 약 120Wt%가 결합수로, 또 약 40Wt%가 반결합수로 존재한다고 보고되어 있다. 즉 고흡수성 고분자가 1,000g의 물을 흡수·팽윤하였을 경우 이 중 약 1.2g은 결합수로, 약 0.

(그림 3) 전해질 농도에 따른 흡수력 변화



4g은 반결합수로 존재하게 되고 나머지 998.4g은 자유수로 된다. 그러므로 흡수 팽윤된 고흡수성 고분자는 통상의 물과 같이 0℃에서 얼고, 100℃에서 물을 증발하게 된다.

3. 합성방법

1980년대 초반 고흡수성 고분자의 상업적 적용 이후 수많은 제조업체가 생겨났으며 이를 원료 조성별로 분류하면 (표 2)와 같다. 각 사별로 최종 사용 용도에 따라 원료조성 선택이 다른 경로를 보이고 있는데 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 고흡수성 고분자의 조성은 부분 가교된 폴리아크릴산염계이다.

고흡수성 고분자를 다음 분류방법에 따라 분류하여 보면 (표 3)과 같다.

<분류방법>

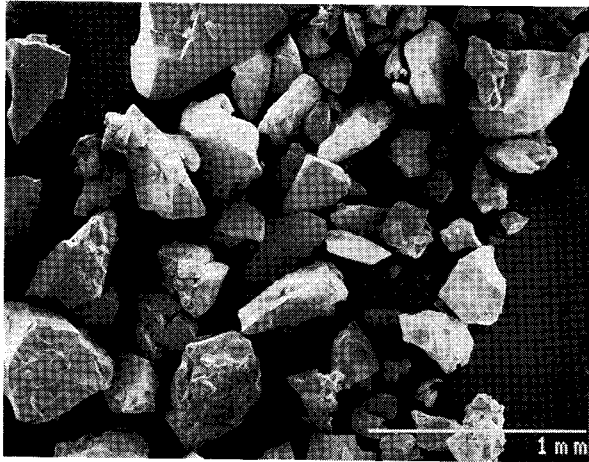
- ① 조성 및 합성법
- ② 불용화의 방법
- ③ 친수화의 방법
- ④ 제품의 형태
- ⑤ 제조방법

현재의 고흡수성 고분자는 제품형태 분류로 분말상(구형, 무정형)의 형태가 주종을 이루고 있으며 이의 대부분은 위생재료 분야에 주로 응용되고 있다. 이러한 분말상의 제품 합성 방법으로는 수용액 중합과 역상 현탁중합 방법이 적용되고 있다. 수용액 중합은 판상(덩어리) 형태의 중합체를 제조한 후 이를 분쇄하여 획득하는 반면 역상 현탁중합은 자체의 작은 액적(약 10~100μm)을 중합한 후 이를 과립상으로 유도하여 제품의 형태를 얻는다. (그림 4)는 제조 방

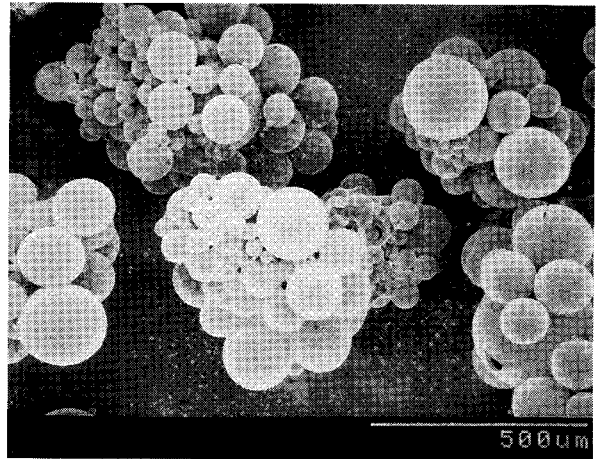
(표 2) 원료 조성별 주요 제조업체 현황

조성	제조회사	상품명	비고
전분계	日) 三洋化成	SANWET	
	美) GRAIN PROCESSING	WATER-LOCK	
	美) SUPER ABSORBENT	MAGIC WATER GEL	
	日) UNILEVER	LVOGEL	
CELLULOSE계	美) BUCKEYE CELLULOSE	CLD	
	美) HERCULES	AQUALON	
	日) ENKA	AKUCCELL	
PAAS계	韓) KOLON油化	K-SAM	
	日) 荒川化學工業	ARASORB	
	日) 花王	WANDAGEL	
	日) 住友化學	SUMIKAGEL	
	日) 製鐵化學	AQUAKEEP	
	日) 日本觸媒化學	AQUALIC	
	美) DAW CHEMICAL	D. W. A. L	
	美) NATIONAL STARCH	PERMASORB	
	美) ALLIED COLLOID	SALSORB	
	日) STOCKHAUSEN	FAVOR	
기타 PVA, PEO	日) 住友化學	SUMIKAGEL	농원예용
	日) 엑스란工業	란실	공업용
	日) 日本合成化學	GP	
	日) 명성화학	아쿠아프렌	

[그림 4] 제조방법별 제품의 형태



▲ 수용액 중합제품(K-SAM GS-2000)



▲ 역상 현탁 중합제품(K-SAM GS-1500)

[표 3] 고흡수성 고분자의 분류

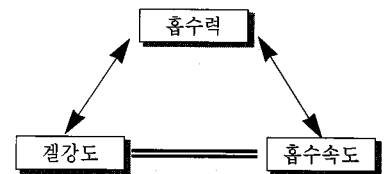
분류방법	세 부 항 목
원 료	<ul style="list-style-type: none"> • 전분계 <ul style="list-style-type: none"> — Graft 중합 — CM화 (Carboxy Methyl화)
	<ul style="list-style-type: none"> • Cellulose계 <ul style="list-style-type: none"> — Graft 중합 — CM화
	<ul style="list-style-type: none"> • 합성 고분자계 <ul style="list-style-type: none"> — Polyacryl 산염계 — Poly Vinyl alcohol계 — Poly Acrylamide계 — Poly Ethylene Oxide계
불용화 (不溶化) 방법	<ul style="list-style-type: none"> • Graft 중합에 의한 3차원화 • 가교제의 공중합(3차원화 반응) • 수용성 고분자의 3차원화 • 자기가교 중합에 의한 3차원화 • 방사선 조사에 의한 3차원화 • 결정구조의 도입(수용성 고분자에의 소수기 또는 결정구조의 도입)
친수화 방법	<ul style="list-style-type: none"> • 친수성 Monomer의 중합 • 소수성 Monomer에의 CM화 반응 • 소수성 고분자에의 친수성 Monomer의 Graft 반응 • 니트릴기, 에스테르기의 가수분해 반응
제품형태	<ul style="list-style-type: none"> • 분말상(구형, 무정형) • 필름상 • 섬유상(단섬유, 장섬유, 부직포)
제조방법	<ul style="list-style-type: none"> • 수용액 중합 • 역상 현탁 중합 • 기타

범별 제품의 형태를 SEM사진으로 본 그림이다.

4. 특징

고흡수성 고분자는 기존의 흡수제

료인 펄프, 스폰지와 같은 빠른 흡수 속도를 가지며 수백에서 천 이상에 이르는 흡수력과 이를 강하게 유지하는 보수력을 갖는다. 이와 같은 특성을 기본 3대 물성으로 비교하면 다음과 같다.



▲흡수력 : 고흡수성 고분자가 용매중에서 팽윤하여 평형에 도달하였을 때의 단위무게당 흡수액량.

▲겔강도 : 흡수한 후의 고분자의 기계적인 강도.

▲흡수속도 : 고흡수성 고분자의 용매에 대한 단위시간당 흡수량.

고흡수성 고분자의 3대 기본물성을 살펴보면 흡수력과 겔강도, 흡수속도는 흡수원리에서 살펴보았듯이 화학적인 기본 구조인 전해질 이온밀도, 이온강도 및 가교밀도에 의해 변화를 부여할 수 있으며, 흡수력대

(對) 젤강도, 흡수속도는 기본적으로 반비례관계를 갖는다. 예를 들어 흡수력은 전해질 이온밀도를 상승시킴으로써, 고분자의 가교밀도를 감소시킴으로써 증가된다. 젤강도, 흡수속도는 이와 반대 특성을 갖는다. 하지만 흡수속도의 경우 고분자의 화학적 조성보다는 입자의 물리적 요인, 즉 입자의 표면적, 모세관현상, Gumball 현상 등에 영향을 받는다. 입자의 크기가 작을수록, 다공질화 섬유 상화될수록 빠른 흡수 속도를 갖는다. 그러나 고분자 입자의 크기를 작게 해가면 100 μ m을 전후하여 Gumball(입자끼리 엉기는 현상) 현상이 발생되어 오히려 흡수 속도가 저하하게 된다.

위와 같은 기본 물성을 토대로 이를 수치화할 수 있는 측정 방법 등이 수없이 많이 나와 있으나 아직까지 공통적으로 규격화된 방법은 없으며 각 고흡수성 고분자 제조업체별로 자

(표 4) 고흡수성 고분자 기본 물성 측정방법

요건	요 구 성 능	물 성 측 정 법	개 요
흡수량	-고흡수배율의 조절	-여과법 -SHEET법 -TEA BAG법	-상압하에서의 보수력 측정
보수력	-고 젤강도	-WET BACK법 -젤강도 측정법 -원심분리법	-가압하에서의 보수력 측정
흡인력	-순간적인 흡수속도 향상	-SUCTION POWER법	-흡수 소재에의 확산성 증대 -소재 표면의 Dryness강화
안전성	-불순물의 적음	-잔존모노머 측정 -표면장력 측정	-인체에 대한 안전성 -환경오염
형상	-입자분포 조절	-입도분석	-적절한 입자분포에 의한 통액성, 작업성, 타물질과의 친밀감 강화
작업성	-고분자 표면개질	-유동도 측정 -겔보기비중 측정 -흡습율 측정	-작업성의 향상을 위한 고분자의 개질정도 측정

체 규격화하여 이를 측정하고 있다. 현재까지 제시된 방법 중 기본 물성의 측정을 위하여 국내에서 주로 사용하고 있는 방법은 (표 4)와 같다.

고흡수성 고분자의 주요 용도 중에는 인체와의 직접 접촉이 가능한 분야에의 적용이 많기 때문에 기본

물성 외에 안전성 측면도 중요한 물성 중의 하나이다. 이 때문에 고분자 자체의 독성에 대한 안정성 확인이 필수적이며, 고분자 표면의 용해, 용출성도 중요한 관리 항목이 된다. 현재 시판 중인 'K-SAM' 제품을 기준으로 고흡수성 고분자의 기본 물성값 및 안정성 측정치를 알아보면 아래표와 같다.

고흡수성 고분자가 상업화되어 본격적으로 판매된 지 15년이 지났으나 아직까지 적용되는 분야가 극히 미미한 수준이다. 향후 독특한 물성으로 인해 응용분야가 더욱 폭넓게 확산되어 갈 것으로 추정된다.

고흡수성 고분자의 기본적인 물성 외에 이것이 갖는 유니크한 특성 및 이를 응용할 수 있는 아이디어 분야를 간략하게 (표 5)에 수록하였다. 현재 적용하여 진행되고 있는 분야와 장래 적용 가능한 분야를 함께 수록하였다. 이러한 독특한 물성 인자 및 기본 물성인자는 적용방법, 분야에 따라 다양한 물성으로의 고분자 유도

● Safety

물 성 테 슷 트	물 성 값
Acute Oral toxicity test (rats)	LD ₅₀ >5,000mg/kg
Sub-acute oral toxicity test (rats)	Non-irritating
Primary Skin irritation test (rabbits)	Non-irritating
Cumulative Skin irritation test (rabbits)	"
Skin Sensitization test (guinea pigs)	"
Patch test (human Skin)	"
Eye irritation test (rabbits)	"
Vaginal mucous membrane irritation test (beagles)	"
Mutagenicity test	Non-toxic

● PAAS계 분말상 고분자 기본 물성

항목	적용목적	위생재료 농원에	산업용도(타물질)	비 고
흡수력 (g/g)		400~700	300~500	증류수
흡수율		7% Max	10% Max	
PH		6±0.5	6±0.5	
겔보기 밀도 (g/ml)		0.7±0.1	0.7±0.1	
입 도 (%)	900 μ m ↑	1.0 Max	-	
	900~150 μ m	90 Min	1.0 Max	
	150 μ m ↓	10 Max	99% (AV. 입경 : 40 μ m)	

[표 5] 고흡수성 고분자의 물성 특성별 용도

특 성	기 능	용 도
흡수성	흡수체	흡수체
보수성	보수체	종이기저귀, 생리용품
	흡수, 건조 반복	결로방지제
흡습성	흡습체	건조제, AIR FILTER
약제 서방성	약제 담체	방향제
급수성	식물 뿌리에 물을 공급	농원에 보수제
팽창성	수흡수 팽창제	완구, 토목용 실링제
전기특성	도전성, 유전율 증가	센서, 전극
선택 흡수성	물을 선택 흡수	유수 분리제
분산 안정성, 증점화	중점분산제	화장품
투명성, 광투광성	광학재료	렌즈, 표시재료
진동흡수성	진동흡수제	방음재
방점강하	冷用 겔	축냉제

응용 개발이 필요하다. 현재까지 모든 응용분야에 만족되는 이상적인 고흡수성 고분자는 없다.

5 용도

고흡수성 고분자는 높은 흡수력과 일단 흡수한 액은 다소의 압력을 가하더라도 유출되지 않는 보수력 등 기존 흡수재료의 대체용도로 응용되어 위생용품에 적용된 이후 농·원예, 토목, 건축, 식품 및 유통재료, 메디칼, 잡화용 등 폭넓은 분야에서 응용 개발이 추진되고 있다.

1980년대 초반 주된 적용분야는 아기용 기저귀로 이후 고흡수성 고분자의 생산량은 비약적으로 증대되었으며, 현재 전세계 생산량의 약 90% 이상이 위생재료 분야에 집중적으로 사용되고 있는 실정이다. 1980년대 후반 이후 새로운 응용분야에의 모색이 활발히 진행되기 시작하여 산업분야 및 농·원예 분야로의 적용이 전개되고 있다.

5-1. 위생재료 분야

고흡수성 고분자의 주 용도는 생

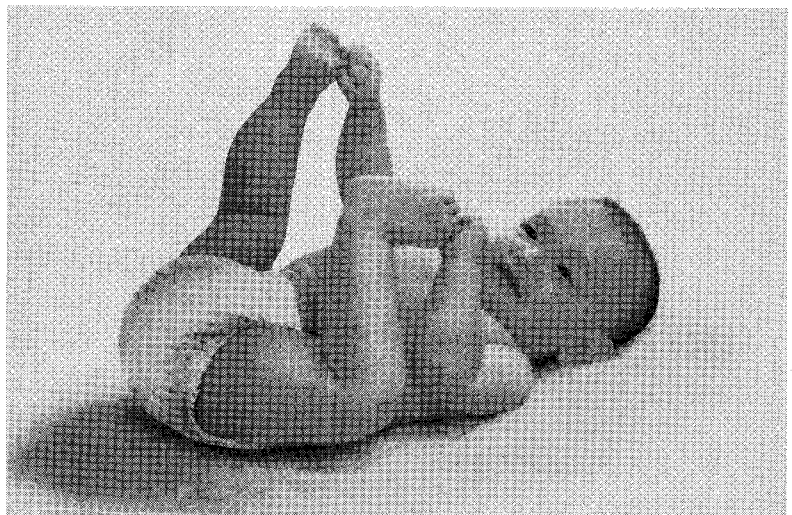
리용품, 아기용 기저귀를 중심으로 하는 위생재료 분야이다. 고흡수성 고분자의 적용으로 위생재료의 경량화, 박형화, Dryness의 향상 등을 실현하게 되었으며, 장시간에 걸친 착용을 가능하게 하였다. 이와 같은 특성으로 위생재료 용품 시장과 더불어 비약적인 성장을 이룰 수 있었다. 일회용 기저귀 내의 고흡수성 고분자의 혼용방법 등에 따라 다양한 기능의 제품 개발이 진행되고 있으며, 현재의 제품 추세는 기저귀의 초박형화로 환경오염 감소를 위해 펄프의 양이 대폭 줄어들고 고분자 사용량이

증대되는 경향을 보이고 있다. 또한 성인용, 실금용, 일회용 기저귀의 개발도 흡수력의 향상, 박형화의 관점에서 검토가 이루어지고 있으며 앞으로 고령자 인구가 증대해 감에 따라 노후의 쾌적한 생활에도 공헌할 것으로 보인다.

5-2. 농·원예 분야

농·원예 분야는 고흡수성 고분자의 특성을 이용한 유망한 응용분야로서 초기 고흡수성 고분자의 개발(미농무성) 동기도 사막의 녹화에 있었다. 사토 등의 배수가 빨리 이루어지는 토양에 대한 보수유지제, 각종 염에 의한 오염 토양의 개질제, 종자 코팅 발아제, 식물 재배용 보수제 등에 대한 연구가 국내에서도 농업연구소들을 중심으로 꾸준히 진행되고 있다.

토양에 고흡수성 고분자를 0.1~0.3% 정도 혼합하면 작물의 성장을 촉진시키고 수확량을 증대할 수 있다는 시험보고도 나와 있으며, 최근에는 대규모 수경재배에의 적용을 위한 기초 연구도 전세계적으로 활발하게 진행되고 있다.



5.3. 토목·건축 분야

최근 고흡수성 고분자의 신규 응용분야로 각광을 받고 있으며 각종 실링재 및 지수재료의 이용이 추진되고 있다. 지수재의 경우 합성수지나 고무 등에 고흡수성 고분자를 혼련함으로써 물이 누수되는 간격부를 밀봉하는 팩킹재로 응용할 수 있다. 이런 종류의 지수재는 물과 접촉하면 팽윤하여 체적이 팽창되기 때문에 간격부를 메워 완전 실링을 이룰 수 있게 된다. 지하철 및 터널공사, 일반 건축분야에 폭넓게 응용할 수 있으며 현재 국산화가 활발하게 진행, 전개되고 있다. 이외 콘크리트 양생·개질제, 토목용 토질개량제, 기포 실드 공법, 급사면의 녹화방법, 인공설 등의 다양한 응용분야가 있으며 급속한 연구 개발이 이루어지고 있다.

5.4. 기타 분야

다양한 분야에서 상품화가 이루어지고 있으며, 응용분야 확대를 위해 티슈, 부직포 등에의 고흡수성 고분자 삽입으로 시트 형태를 제조·적용하기도 한다.

지하나 해저에 매설하는 통신 케이블 및 고압전선에의 응용도 현재 상품화되어 있으며, 전선의 접지 중성선 위·아래에 고흡수성 고분자 시트를 적용, 전선 표면 Crack에 의한 습기 침투 방지 목적으로 적용되고 있다.

또한 고흡수성 고분자의 축열성 및 결로방지 특성을 이용하여 일반 아이스박스의 보냉 겔화제 적용이 이루어지고 있으며, 수송되는 생선 및 청과물의 선도유지에도 응용·적용되고 있다. 기타 팽창완구, 전기·전자

제품에의 응용, 선택 흡수성을 이용한 유수분리(합수油 중의 수분흡수), 축열성·증점성을 이용한 난방재료, 액의 겔화성을 이용한 방향제 등 폭넓은 분야에의 응용연구가 진행되어지고 있다.

6. 맺음말

고흡수성 고분자의 전개과정을 살펴보면 3기로 나누어 볼 수 있다.

▲1기(1980~1985) : 연구개발 및 수요 창출의 시기

▲2기(1985~1990) : 위생재료 수요 창출에 따른 양산화 및 물성 안정화 시기

▲3기(1990이후) : 고분자 응용범위의 확대 및 용도 다양화 시기

초기 고기능성 고분자로 고가의 상품으로 국한된 범위에서 사용되어 지던 고흡수성 고분자는 위생재료 분야 참여로 큰 시장을 획득하였고, 이에 따라 양산화 → 저 코스트화 → 응용범위의 확대과정으로 나아가고 있다. 국내의 고흡수성 고분자 총 수요량은 연 4,000톤 수준으로 추정되며 지속적인 적용 확대에 따라 높은 신장률을 유지하고 있다.

자체 기술개발로 수입제품의 국산화 대체를 추진하여온 코오롱유화(주)는 고기능화, 저 코스트화 양산화체제를 구축하고 응용시장 확대를 위해 제품형태의 다양화, 기존의 유용성 고분자들의 물과의 친화력 부족에서 오는 단점 보완을 위한 고흡수성 고분자와의 혼용 상용성 부여 특성화 등 제품 응용기술의 확립을 위한 연구개발을 계속 진행해 나가고 있다.

현 단계에서 고흡수성 고분자는 다음 새로운 세대로의 도약을 위해 전세계적으로 생산설비 증설 및 신규 응용분야에 대해 보다 다각적인 노력을 기울이고 있으며 이의 일환으로 기존 분말상 형태에서 새로운 형태의 전환(Fiber 상, Sheet 상), 환경오염 문제에 대비한 분해성 고분자로의 발전 등 제4세대로의 발전 방향을 모색해 나가고 있다.

【참고문헌】

1. 伏見隆夫, 高吸水性 Polymer, 工業調査會
2. 藤本武彦, 高分子藥劑入門, 三洋化成
3. Pronoy K. Chatterjee, Absorbency, Textile Science & Technology 7, Elsevier.
4. Paul J. Flory, Principles of Polymer Chemistry, Cornell University Press
5. 増田房義, 高吸水性 Polymer, 高分子新素材 One Point-4, 共立出版
6. CMC, New Uses of super Absorbent Polymers
7. Philip Molyneux, Water-Soluble Synthetic Polymers, CRC Press.