미세플라스틱과 4차 암모늄 살균제의 수중 흡착 메커니즘 및 독성 영향

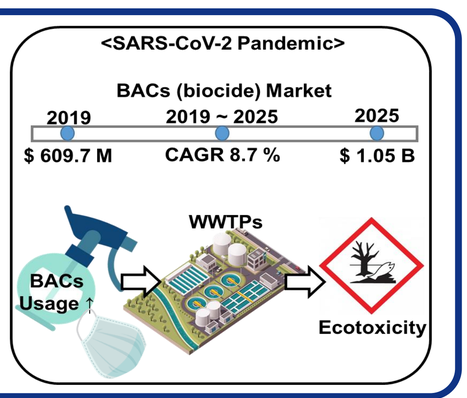
김태경[1*], 차영호[2]

[1]UC Berkeley 토목환경공학과, [2]서울대학교 환경보건학과

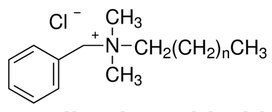
연구 배경 및 목적

연구배경 및 목적

- **COVID-19 판데믹** 으로 4차 암모늄 계열 **살균제** 및 **마스크** 등의 **polyethylene (PE) 계열 일회용 위생용품** 사용이 폭발적으로 증가
- 플라스틱 폐기물이 수계로 유입될 경우 풍화작용에 의한 미세화 발생하며 이는 전세계적 환경 이슈인 **미세플라스틱**을 발생시킴
- **미세플라스틱**과 **고독성 살균제**의 **수계 내 거동 및 독성 영향**에 대한 이해를 통해 이들의 **잠재적 위험성을 평가**할 필요 있음



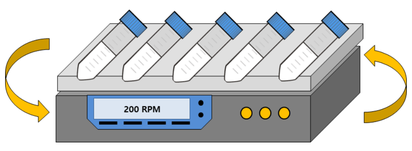
실험 재료 및 방법



Benzalkonium chlorides (BACs) C=12, 14, 16



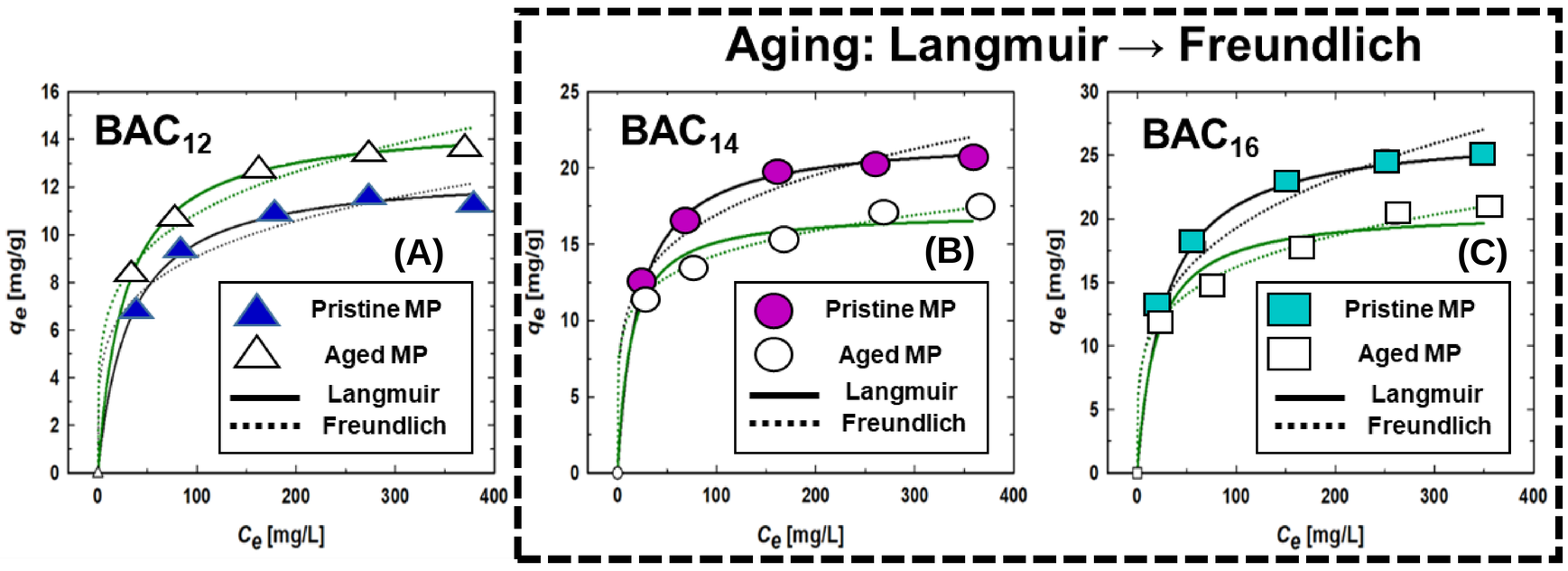
PE spherical type in sizes 0.2 to 354 μmm



항온 shaker 사용, 200 rpm
pH buffered
$[BACs]_0$ = 200 mg/L
$[PE]_0$ = 2 g/L

실험 결과 및 고찰

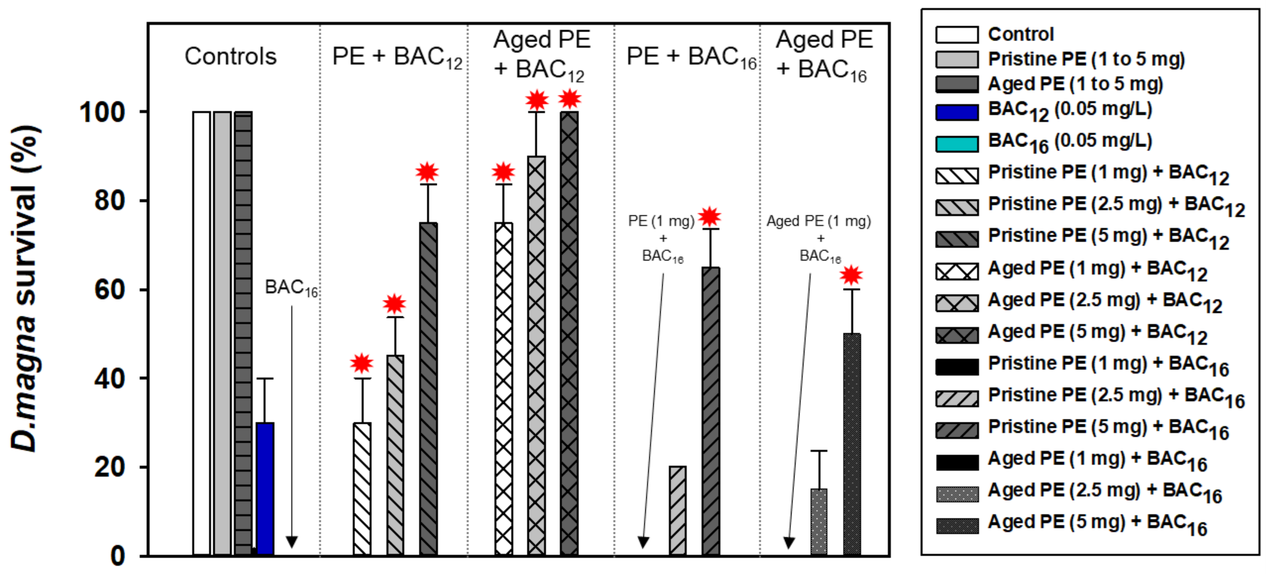
미세플라스틱 aging 전/후 등온 흡착 변화



[그림 3]. Equilibrium adsorption amount of (A) BAC_{12}, (B) BAC_{14}, and (C) BAC_{16} in the presence of pristine PE and aged PE at various initial BACs concentration ($[BACs]_0$ = 50, 100, 200, 300, and 400 mg/L; $[PE\text{-}MPs]_0$ = 2g/L; Size of pristine PE-MPs = 300-354 μm; pH = 7; STD < 10%)

Isotherms		BACs		
		BAC_{12}	BAC_{14}	BAC_{16}
Langmuir (pristine PE)	Intercept	0.0789	0.0453	0.0371
	Slope	2.4778	0.9560	1.0487
	q_{max} (mg/g)	12.6699	22.0704	26.9646
	K_L	0.0319	0.0474	0.0354
	R_L	0.1357	0.0954	0.1239
	R^2	0.9897	0.9974	0.9895
Freundlich (pristine PE)	Intercept	0.5234	0.8158	0.7459
	Slope	0.2177	0.2064	0.2696
	1/n	0.2177	0.2064	0.2696
	k_f	3.3373	6.5434	5.5699
	R^2	0.8558	0.8956	0.9401
Langmuir (aged PE)	Intercept	0.0678	0.0583	0.0483
	Slope	1.8175	0.7846	0.9178
	q_{max} (mg/g)	14.7535	17.1392	20.7014
	K_L	0.0373	0.0744	0.0526
	R_L	0.1182	0.0630	0.0868
	R^2	0.9933	0.9473	0.9609
Freundlich (aged PE)	Intercept	0.6077	0.8483	0.7980
	Slope	0.2147	0.1533	0.2058
	1/n	0.2147	0.1533	0.2058
	k_f	4.0521	7.0515	6.2804
	R^2	0.9401	0.9891	0.9950

독성 평가



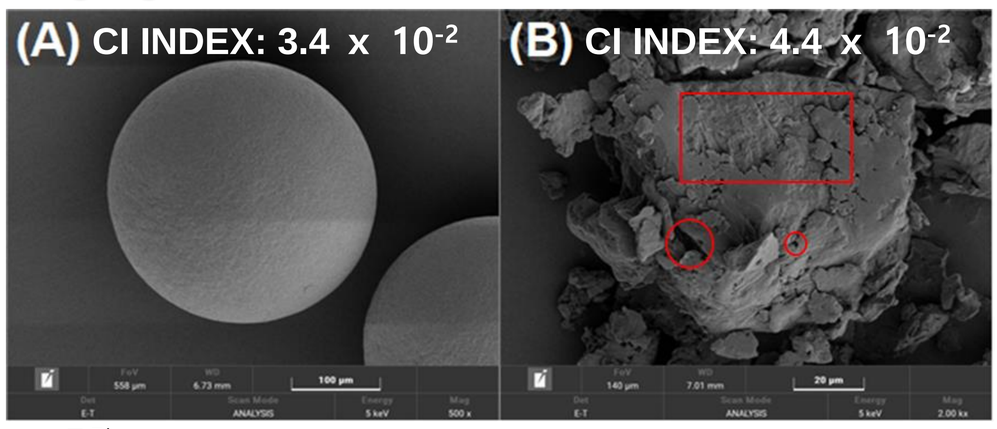
[그림 4]. Survival of *D.magna* at various conditions ($[BACs]_0$ = 0.05 mg/L; $[PE\text{-}MPs]_0$ = 1 mg, 2.5 mg, and 5 mg per 70 mL; Size of pristine PE-MPs = 300-354; pH = 7; 16 : 8 = Day : Night cycle; Statistical significance between pristine PE and aged PE adsorption data is marked by red asterisk ✷)

- **PE 는 aging 유무에 관계 없이 생태 독성 유발하지 않음**
- **BAC_{12} 와 BAC_{16} 은 물벼룩에 대해 70%, 100% 치사율 보임**

- **BAC_{12} 흡착: Aged PE > Pristine PE (그림 3(A))**
- **BAC_{12} 독성 저감: Aged PE (76-100%) > pristine PE (31-76%)**

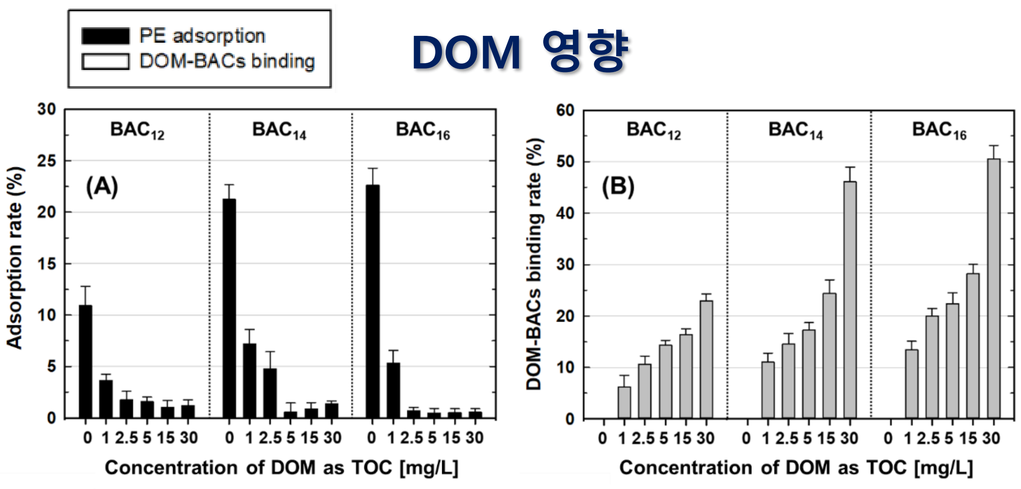
- **BAC_{16} 흡착: Pristine PE > Aged PE (그림 3(C))**
- **BAC_{16} 독성 저감: Pristine PE (0-64%) > Aged PE (0-52%)**

Aging 에 의한 미세플라스틱 물리화학적 변화



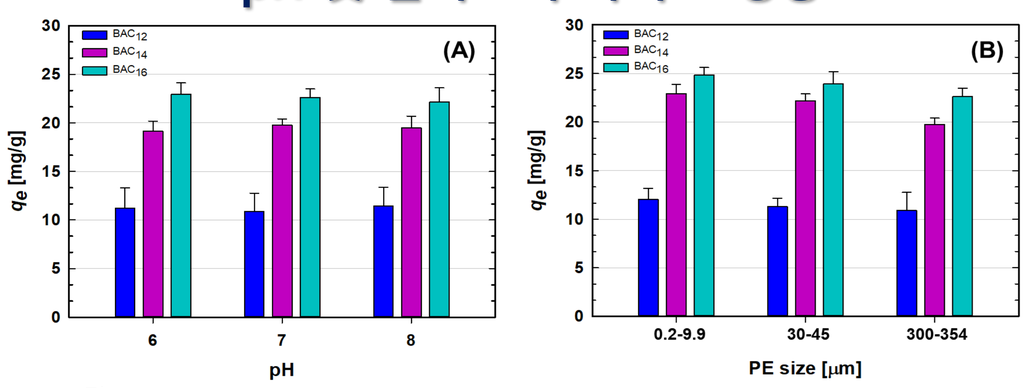
[그림 5]. SEM images and carbonyl index of (A) pristine PE and (B) aged PE (red rectangular = cracks on the aged PE; red circle = pits on the aged PE)

DOM 영향



[그림 6]. (A) adsorption of BACs onto pristine PE in the presence of DOM and (B) DOM-BAC binding rate in the absence of PE ($[BACs]_0$ = 200 mg/L; $[PE\text{-}MPs]_0$ = 2g/L; Size of pristine PE-MPs = 300-354 μm; $[DOM]_0$ = 0, 1, 2.5, 5, 15, and 30 mg/L; pH = 7)

pH 및 플라스틱 사이즈 영향



[그림 7]. (A) Effect of pH and (B) effect of PE size on adsorption equilibriums during the adsorption of BACs onto pristine PE ($[BACs]_0$ = 200 mg/L; $[PE\text{-}MPs]_0$ = 2g/L; Size of pristine PE-MPs = 0.2-9.9, 30-45, and 300-354 μm; pH = 6, 7, 8)

결론

1. 흡착 평형은 **10 분 이내에 도달**했으며 Aging 전/후 플라스틱에 대한 BAC_{14} 와 BAC_{16} 의 **최적 등온 흡착식 변화 확인**
2. pH 및 플라스틱 사이즈에 대한 흡착 변화 크지 않았으며 흡착질 **분자량이 커질수록 흡착 증가**하는 경향 확인
3. DOM과 BACs 의 **complexation** 으로 인한 BACs 제거 확인. DOM 존재 시 플라스틱에 대한 **흡착 감소**
4. 미세플라스틱 존재 시 BACs 에 의한 **급성 독성 감소**
5. 두 물질의 수계 내 반응은 **hydrophobic interaction** 이 지배함
6. BACs 가 흡착된 PE 의 생물체 내 유입 시 **소화액에 의해 일어나는 탈착** 반응 및 **분자생물학적 독성 유발 기전 확인 필요**

Berkeley
UNIVERSITY OF CALIFORNIA

+15102135299
tkkim13@berkeley.edu