

유기용제의 Gel화 특성

강영구 · 김정훈*

호서대학교 안전시스템공학과 · *호서대학교 대학원 안전공학과

1. 서 론

Organic solvent를 원료로 한 액상 세척제는 가전제품, 컴퓨터용품, 전기기구 세척 등의 민수 용품과 산업용 정밀 기계부품과 같은 대상물 세척 등에 사용되고 있다. 그러나 일반 유기용제를 주성분으로 한 유기용제형 세척제의 경우 장기 오염물질에 따른 세척력 저하, 공정상 VOC(Volatile Organic Compound)가 과도 발생할 뿐만 아니라 비생분해성, 높은 증기압, 화재 및 폭발 위험성, 냄새 성분 발생 등 안전 및 보건상 치명적인 결함이 있다.

본 연구에서는 이와 같은 액상 유기용제형 세척제의 문제점에 대한 특성 개선 연구의 일환^{1,2)}으로서 high performance cleaning, waxing, coating effect, biodegradable 등의 기능성을 나타내는 gel상 cleaning compound를 제조함과 동시에, 개발제품의 인체 유해성을 제어하여 일반 및 산업용도에 응용하고자 하였다. 이러한 gel 형태의 물질은 대상 소재 및 용도에 따라 polishing, waxing, coating, cleaning, sealing agent 및 absorbent 등에 광범위하게 사용되고 있으며,^{3,4)} 핵발전소용 방사능 침투억제 코팅제, 전자부품, 항공기, 철도, 차량 및 산업설비용 세척제 등이 다양한 형태로 개발되고 있다.⁵⁾ 이에 본 연구에서는 반도체 및 전자부품산업 등의 첨단산업, 일반용도 분야에서 작업공정상 안전성 및 인체위험성에 대한 영향을 최소화할 수 있도록 용도 및 대상에 따라 3종의 solvent와 4종의 gelation agent의 mixing을 통한 함량 변화에 따른 최적의 gel화 요구 특성을 나타내는 기능성 gel compound를 제조하여 pH test, viscosity test 및 volatility test 등을 측정하였다.

2. 이 론

Polymer gel의 팽윤 공정은 solvent 분자가 polymer network으로 확산되고 polymer chain이 solvation에 의해 유리상에서 고무상으로 이완된 후, polymer network이 solvent속으로 확산되는 연속 3단계 공정을 통하여 최종적으로 Fig. 1과 같은 체적 팽창을 일으킨다. 팽윤도가 증가함에 따라 scattering intensity는 점차 감소하게 되며, 역으로 팽윤도가 감소할수록 scattering intensity는 증가하는 특성을 나타내어 gel은 swelling 혹은 shrinking으로 상태 변화를 일으킨다.⁶⁾ 따라서 gel swelling은 cluster내의 인접 분자수가 감소되는 메카니즘으로 해석이 가능하다. 또한 gel swelling은 이온화도, 가교밀도, pH, ionic strength, hydrophilicity 등의 각종 자극에 의한 영향 인자로

인해 light sensitive gel, thermo-sensitive gel, solvent sensitive gel, ion and pH sensitive gel, electric field sensitive gel 등 다양한 형태의 gel을 형성하게 된다.⁷⁻⁹⁾

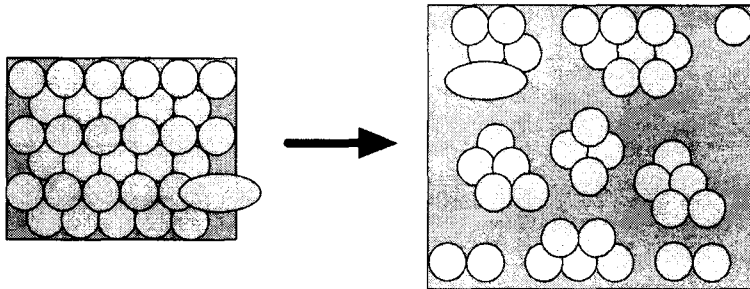


Fig. 1 Schematic illustration of gel swelling process

3. 실험

3.1 Manufacturing process and gelation properties

Turpentine oil, NMP(*N-Methyl-2-Pyrrolidone*), d-Limonene 3종의 solvent에 gelation agent로서 Aerosil 200, Aerosil R972, Benton 38 및 Carbopol 934를 mixing하여 함량 변화에 따른 최적의 gelation 특성을 고찰하였다. 제조공정은 Fig. 2와 같이 solvent 89~98wt(%)를 1ℓ bottle에 투입하고, gelation agent를 고르게 분산시키기 위해 분산제로서 TEA(triethanolamine)를 고정량 1wt(%)로 첨가시켜 stirrer를 이용하여 혼합한다. Gelation agent를 1wt(%) 간격으로 함량을 1~10wt(%)까지 변화시키면서 투입하고, 배합비에 따라 Homomixer(HM-20D, Young Ji Hana)로 약 3,000~3,500 rpm의 속도로 교반시킨다.

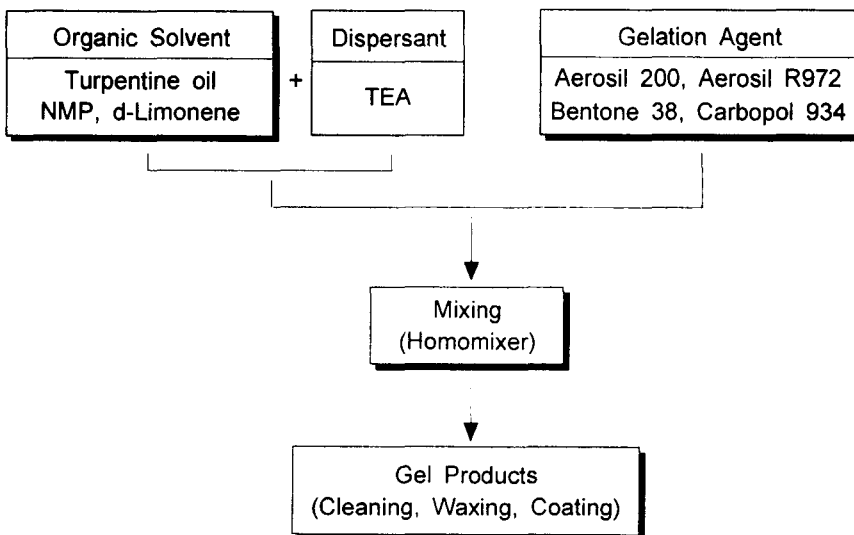


Fig. 2 Schematic diagram of gelation process

Table 1.과 같이 Aerosil 200 및 Aerosil R972는 대상 solvent 모두에 반응하였으며, 그 중 Aerosil 200이 가장 우수한 gelation 특성을 나타내었다. 그러나 Bentone 38은 Turpentine oil에만 반응하였으며, Carbopol 934는 gel화 되지 않았다.

Table 1. Gelation of gel compounds

	Aerosil 200			Aerosil R972			Bentone 38			Carbopol 934		
	T	N	D	T	N	D	T	N	D	T	N	D
S-1	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
S-2	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
S-3	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
S-4	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
S-5	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
S-6	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
S-7	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
S-8	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
S-9	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×
S-10	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×

주) T : Turpentine oil, N : NMP, D : d-Limonene
 ○ : Formation of gels, × : No formation of gels

3.2 pH test

pH meter는 Cyberscan 510 pH meter(Eutech instruments)를 이용하여 기준액에 의해 영점조정 후 검출부 시료의 표준액에 침적하여 상온에서 2분이상 측정하여 안정된 pH 값을 측정하였다. Gelation 전후의 organic solvent에 대한 pH를 측정한 결과 그 범위는 약 5.4~6.8로 중성 범위의 약산성을 나타냄으로써 유기용제의 취급 작업시 인체에 대한 유해성은 없는 것으로 판단되었다.

Table 2. pH average of gel compounds

	Raw Material	Aerosil 200	Aerosil R972	Bentone 38
Turpentine oil	6.6	6.1	6.3	6.4
NMP	6.4	6.4	6.4	6.8
d-Limonene	5.4	5.8	5.8	5.6

3.3 Viscosity test

점도 측정은 각 함량비에 따른 시료를 대상으로 Viscometer(Brookfield DV-II+)를 이용하여 60rpm으로 2시간 정도 경과한 후 측정하였다. Gel compounds의 점도를 측정 한 결과 solvent는 Turpentine oil, gelation agent는 Aerosil 200이 가장 우수한 특성을 나타내었으며, 이 경우 gelation agent 함량 5~7wt(%) 범위에서 급격한 점도 상승을 나타내었다. 그러나 NMP와 d-Limonene의 solvent에 대하여 Bentone 38은 층상분리를 통해 gelation이 발생되지 않아 점도값을 측정할 수 없었으며, 각 gelation agent에 대하여 NMP를 solvent로 적용하였을 때 점도 특성이 가장 취약하였다.

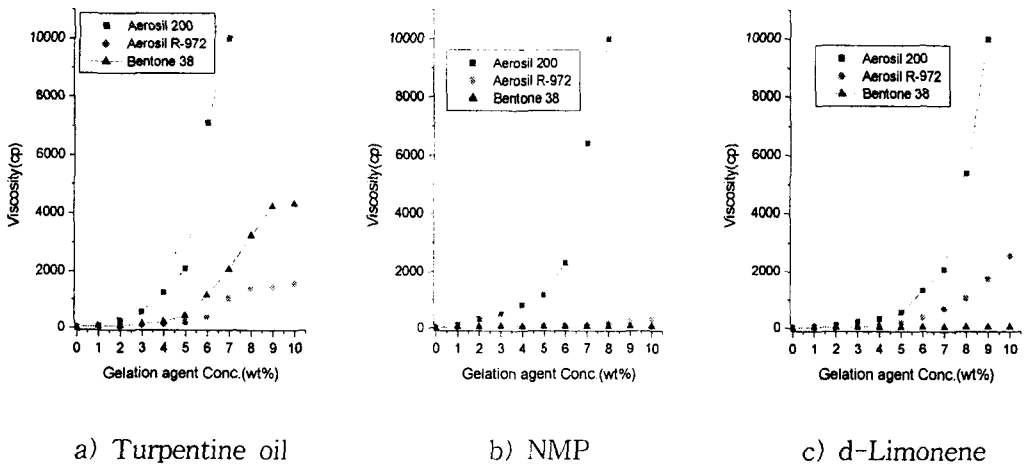
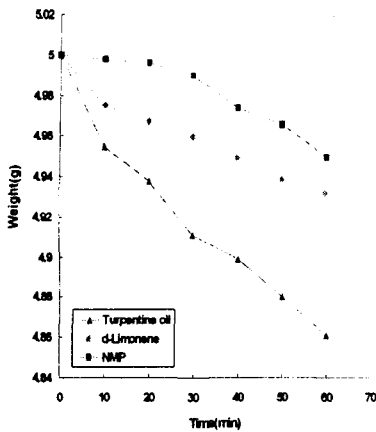


Fig. 3 Viscosity of gel compounds based on several solvents

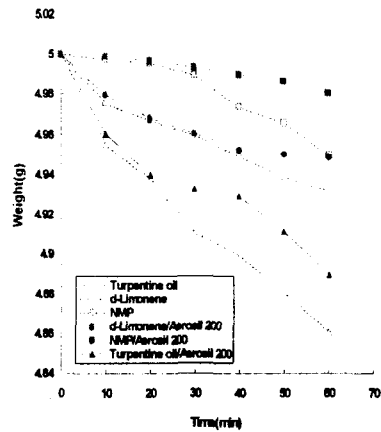
3.4 Volatility test

제조된 gel compounds 취급 작업시의 안전성과 증기압에 대한 영향을 개략적으로 판단하기 위해 휘발 특성을 시험하였다. 유기용제 원료물질 3종과 최적의 상태로 gelation된 gel compound 샘플 3종을 각각 5g으로 칭량하고, 30°C의 온도조건에서 10min 간격으로 1Hr동안 시간 변화에 따른 weight loss를 측정하였다.

실험 결과 유기용제가 gelation될 경우 유기용제 단독의 경우보다 자체 증기압의 영향에 따른 weight loss는 약 20~60%까지 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 유기용제 별로는 NMP의 weight loss가 가장 적게 나타났으며, d-Limonene, Turpentine oil 순으로 weight loss가 증가하는 경향을 보였다.



a) Organic solvents without gelation agent



b) Organic solvents with gelation agent

Fig. 4 Weight loss profile of samples as time changes

4. 결론

이상과 같이 첨단산업 및 일반 용도로 우수한 cleaning, coating, waxing 등의 특성을 나타내는 organic solvent를 대상으로 한 기능성 gel compounds를 제조하여 gelation 시험, pH 시험, 점도 및 휘발성 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론이 도출되었다.

- 1) Turpentine oil, NMP, d-Limonene의 organic solvent에 4종의 gelation agent를 첨가하여 gelation시킨 결과 Aerosil 200, Aerosil R972만이 3종 solvent에 모두 반응하였으며, 특히 Aerosil 200이 가장 우수한 gelation 특성을 나타내었다. 또한 pH는 5.4~6.8로 중성 범위의 약산성을 나타냄으로써 인체에 대한 유해성은 없는 것으로 판단되었다.
- 2) 제조된 gel compounds의 점도를 측정된 결과 solvent는 turpentine oil, gelation agent는 Aerosil 200의 경우 최적의 특성을 나타내었다. 또한 gelation agent를 5~8wt(%)정도 소량 첨가시에도 고점성을 나타냄으로써 세척, 광택 등의 작업시 피대상물에 부착 및 세척이 용이하고, 취급시 용기의 전도 등에 의한 유기용제의 유출 피해를 최소화할 수 있다고 사료된다.
- 3) Gelation agent 사용 유무에 따른 유기용제의 휘발 특성을 상호 비교한 결과 organic solvent를 gelation하였을 경우 증기압에 따른 weight loss는 약 20~60%까지 감소되었다. 따라서 유기용제를 gel type으로 제조시 화재 및 폭발위험성 감소, 작업공정상 VOC 및 냄새 성분 등에 의한 인체유해성을 상대적으로 제어할 수 있다고 판단된다.

참고문헌

- 1) 강영구, 정문호, “인화성액체의 겔화 특성에 관한 연구”, '98 춘계학술논문발표회논문집, 한국산업안전학회, pp. 185-188, 1998.
- 2) 강영구, 정문호, “다성분 인화성 액체의 Gel화 특성 연구”, '99 춘계학술논문발표논문집, 한국산업안전학회, pp 73-76, 1999.
- 3) M. Pflaumbaum, F. Müller, J. Peggau, W. Goertz, B. Grüning, “Rheological properties of acid gel cleansers”, Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 183-185, pp 777, 2001.
- 4) T.E. Fletcher, “A simple model to describe relationships between gloss behaviour, matting agent concentration and the rheology of matted paints and coatings”, Progress in Organic Coatings, Vol. 22, pp 25-36, 2002.
- 5) W. Phuapradit, N.H. Shah, Y. Lou, S. Kundu, M.H. Infeld, “Critical processing factors affecting rheological behavior of a wax based formulation”, European Journal of Pharmaceutics and Bio-pharmaceutics, Vol. 53, pp 175-176, 2002.
- 6) Carlos A. Grattoni, Hamed H. Al-Sharji, Richard A. Dawe and Robert W. Zimmerman, “Segregated pathways mechanism for oil and water flow through an oil-based gelant”, Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 35, Issues 3-4, pp 183-190, 2002.
- 7) Mamada, A., Tanaka, T., Kungwachakun, D., and Irie, M., Macromolecules, Vol. 24, 1605, 1990.
- 8) Hirokawa, Y. and Tanaka, T., in Microbial Adhesion and Aggregation, Edited by Marshall, K.C., Springer Verlag, Berlin, 1984.
- 9) Osada, Y., Advances in Polymer Science, Springer-Verlag, Berlin, Vol. 82, 1, 1987.