

## 비이온성 계면활성제가 함유된 수용액의 특성과 소화성능 Characteristics of Water Solutions Containing Nonionic Surfactants and Their Fire Fighting Performance

이윤우<sup>†</sup>·이윤용·박양원\*

Youn-Woo Lee<sup>†</sup>·Youn-Yong Lee·Yang-Won Park\*

한국과학기술연구원 국가지정 초임계유체연구실, \*(주)진화E&C2  
(2002. 8. 9. 접수/2002. 9. 12. 채택)

### 요 약

환경친화적이면서 저가의 비이온성 계면활성제가 함유된 소화약제를 조제하고 이의 물성과 소화약제 성능시험을 수행하였다. 약제의 주된 계면활성제로서 에톡실레이티드 솔비톨 설패올레이트, 에톡실레이티드 솔비톨 트리올레이트 그리고 선형 에톡실레이티드 이차 알코올을 사용하였다. 본 연구에서는 휘발유의 부피보다 4배 가량의 6% 소화약제가 투입되는 경우 화재를 진압할 수 있는 능력을 가지고 있는 것을 알 수 있었다. 1단위 B급 화재 진화 시험을 수행한 결과, 소화성능은 계면활성제의 농도에 정비례하는 것으로 나타났다.

### ABSTRACT

A fire extinguishing agent containing non-ionic surfactant which is environmentally friendly and low cost was prepared and tested its characteristics and fire fighting performance. Ethoxylated sorbitol septaoleate, containing 40 moles of ethylene oxide as the primary surfactant, linear ethoxylated secondary alcohol, containing 7-11 moles ethylene oxide as the secondary surfactant, and ethoxylated sorbitol trioleate, containing 40-50 moles of ethylene oxide were used in the agent. It is demonstrated that the water solution containing 6 wt% agent is capable to extinguish gasoline fire when it is put into the fire four times as much as gasoline. According to the field test of class B fire with a unit 1, it is found that the fire fighting performance is directly proportional to the concentration of surfactant in the agent.

**Keywords** : Surfactant, Fire fighting performance, Class B fire

### 1. 서 론

계면활성제가 포함된 소화약제는 유류(油類)에 의한 화재나 폭발 등에 효과적으로 대처할 수 있는 소화약제이다. 지금까지 계면활성제가 함유된 소화약제는 침투력을 증가시키기 위해 1 wt%이하의 계면활성제를 첨가하여 물이 내부로 침투하기 어려운 목재, 원면, 고무, 플라스틱, 옷, 건초, 짚 및 매트리스 등의 화재 또는 폭발방지에 이용된 것이 대부분이었다. 그러나 계면활성제가 다량 포함되면서 유류의 화재 등을 신속하게 진압할 수 있는 소화약제의 필요성이 증대되면서

국내외적으로 연구 개발이 진행 중에 있다. 일부 수입산 소화약제가 국내에 소개되기는 하였지만 가격이 비싸고 소화 성능 면에서 아직까지 개선되어야 할 점이 많이 지적되고 있다.

계면활성제가 포함된 소화약제는 고농도의 계면활성제가 기름의 층 속으로 신속히 침투하여 분산시켜 기름이 휘발되는 것을 방지하고 화재가 진행 중에서도 그 자신이 분해되거나 성능 감소가 현저히 일어나지 않아야 한다. 특히 소화성능의 최대화하기 위하여 유적의 크기를 최소화하는 것이 바람직하며, 경제성이 있는 소화약제를 조제하기 위하여 분산과 유화의 비가 적절히 유지되도록 조성 성분간의 배합비가 최적으로 조정되어야 한다. 또한 고농도의 계면활성제로 인한 2

이윤용 박사 정년퇴임 기념논문  
<sup>†</sup>E-mail: ywlee@kist.re.kr

차 환경오염이나 독성의 증가를 억제해야 하므로 독성이 낮은 계면활성제를 선택해야 한다.

상기한 조건을 갖추는 계면활성제 함유 소화약제에 대한 기초 자료를 문헌에서 찾는 것은 그리 쉬운 일이 아니다. 그러나 이와 비슷한 원리를 가지고 사용하는 유처리제의 문헌을 연구함으로써 간접적으로 계면활성제 함유 소화약제의 조성을 알아낼 수 있을 것으로 생각된다. 즉 기름이 바다에 유출되거나 강에 오염되었을 경우, 환경 오염 방지를 위하여 사용한 유처리제의 연구 동향은 유류 화재에서 소방성능을 향상시키는 기초 자료로서 많은 정보를 제공하여 준다.

미국특허 4,469,603<sup>1)</sup>에서는 기존의 탄화수소 용제형 유처리제의 문제점을 개선하기 위하여 물과 글리콜 에테르를 사용하는 조성을 만들었다. 계면활성제로는 지방산 솔비탄 모노에스테르와 지방산 솔비탄 모노에스테르의 에틸렌 옥사이드를 반응시켜 얻은 폴리알킬렌 옥사이드를 사용했다. 지방산 솔비탄 모노 에스테르는 솔비탄 모노올레이트(sorbitan monooleate)와 분자당 평균 20개의 옥시에틸렌(oxyethylene) unit을 갖는 솔비탄 모노올레이트(sorbitan monooleate)의 polyethylene oxide adduct를 사용한 것으로 보인다. 이 특허에서는 디알킬설포석시테이트의 알킬리 염을 사용했는데, 75% 수용액으로 구입할 수 있는 디(2-에틸헥실) 설포석시네이트(di(2-ethylhexyl) sulfosuccinate)를 사용한 것으로 생각된다. 이들 세 가지 계면활성제의 혼합물은 HLB가 9.4-10.5로 맞추었고, 용제로는 물과 모노알킬 글리콜 에테르를 사용하였고, 에틸렌글리콜 모노부틸 에테르(ethylene glycol monobutyl ether), 디에틸렌글리콜 모노부틸 에테르(diethylene glycol monobutyl ether) 등이 함께 사용되었다. 1985년 Exxon사에서 등록한 미국특허 4,502,962<sup>2)</sup>에서는 탄소수가 10-20개인 모노카르복실산의 솔비탄 모노에스테르와 이의 폴리옥시알킬렌 결합물, 그리고 음이온 계면활성제를 탄화수소 용제와 글리콜 에테르, 그리고 점도 강하제를 혼합한 유처리제를 조제하였다. 미국특허 4,560,482<sup>3)</sup>는 기존의 유처리제들이 3°C 정도의 저온에서 벙커 C유와 같은 고점도유에 대해 분산성능이 낮은 것을 극복하기 위해 기름에 녹는 폴리머를 넣은 것이 특징이다. 이러한 폴리머로는 폴리이소부틸렌(polyisobutylene), 에틸렌-프로필렌 공중합체(ethylene-propylene copolymer), 폴리디메틸실옥산(polydimethylsiloxane), 폴리프로필렌 옥사이드(polypropylene oxide), 시스-폴리이소프렌(cis-polyisoprene), 시스-폴리부타디엔(cis-polybutadiene), 폴리스티렌(polystyrene) 등을 사용할 수 있는데, 특히 에틸렌-프로필렌 공중합체(ethylene-propylene copolymer),

폴리이소부틸렌(polyisobutylene) 등이 우수한 성능을 보이는 것으로 나타나 있다. The British Petroleum Company사에서 등록한 미국특허 4,597,893<sup>4)</sup>에서는 기존의 유처리제가 염분이 낮은 담수에서 효과가 감소하고 0°C 정도의 저온에서 분산 효능이 떨어지는 것을 보완하기 위해 탄화수소 용제를 사용하지 않는 조성을 만들었다. 글리콜 에테르와 혼합하여 이소-데칸올(isodecanol)과 같은 알콜류를 첨가하였을 때 분산성능이 증가하는 것을 알 수 있었다. 3차 아밀 알콜류와 글리콜 에테르를 사용하는 것은 탄화수소 용제에 계면활성제의 용해도를 증가시키기 위한 것이다. 미국특허 4,830,759에서는 환경에 친화적인 유처리제 제조를 위하여 방향족 성분을 없앤 케로젠을 용제로 사용했는데, 물을 25% 정도까지 첨가하여 계면활성제의 용해도를 증가시켰다.

본 연구에서는 계면활성제 함유 소화약제의 새로운 조성을 개발함에 있어서 다음 사항을 고려하여 수행하였다.

- (1) 소화약제는 수용성 소화제이어야 할 것.
- (2) 탄화수소 및 유류 화재 특히 절연유의 화재에 탁월한 소화성능을 갖아야 할 것.
- (3) 독성이 적어 생물과 환경에 영향을 적게 주는 것.
- (4) 부식성이 적고, 소화호소재료에 영향이 적을 것.
- (5) 가연성 증기의 발생을 억제하여 재발화가 없을 것.
- (6) 제조가 쉽고 저가에 생산할 수 있을 것.

## 2. 실험

### 2.1 실험물질

실험에 사용된 약품으로 헵탄(n-Heptane[142-82-5])과 2-프로판올(2-Propanol[67-63-0]), 사염화탄소(carbon tetrachloride[56-23-5])는 Aldrich사에서 HPLC 급으로 구입하여 정제없이 사용하였으며, 물은 증류수를 사용하였다. 황산 나트륨(sodium sulfate[7757-82-6])과 염화칼슘(calcium chloride[10043-52-4])은 99.9+ 순도의 시약을 Aldrich사에서 구입하여 그대로 사용하였다. 소화약제 샘플은 Table 1에 나타난 오일과 왁스를 유화시키는데 필요한 HLB값에서 절연유의 성분인 광유(mineral oil)를 가장 잘 유화시킬 수 있도록 HLB값이 10-12사이가 되도록 하였으며 계면활성제의 성분은 Table 2에 나타난 주요 계면활성제의 HLB 값으로부터 적절한 것과 환경친화적이며, 가격이 싸고 우수한 성능을 발휘하는 것을 선택하였다. 여기서 HLB(Hydrophilic Lipophilic Balance)는 미국의 Atlas Powder 회사 연구진에 의해 처음 도입된 개념으로써 계면활성제 분자중

**Table 1.** HLB value required for emulsification of oil and wax<sup>6)</sup>

chemical compounds	CAS	HLB	chemical compounds	CAS	HLB
<i>O/W Emulsion</i>			<i>O/W Emulsion</i>		
Acetophene	98-86-2	14	Lauryl alcohol	112-53-8	14
Beeswax	8012-89-3	9	Linoleic acid	60-33-3	16
Benzene	71-43-2	15	Menhaden oil	8002-50-4	12
Benzonitrile	100-47-0	14	Methyl phenyl silicone	42557-10-8	7
Bromobenzene	108-86-1	13	Methyl silicone	9076-37-3	11
Butyl stearate	123-95-5	11	Mineral oil, aromatic	8012-95-1	12
Carbon tetrachloride	56-23-5	16	Mineral oil, paraffinic	8012-95-1	10
Carnauba wax	8015-86-9	15	Mineral spirits	8030-30-6	14
Castor oil	8001-79-4	14	Mink oil	8023-74-3	9
Ceresine wax		8	Nitrobenzene	98-53-3	13
Cetyl alcohol	36653-82-4	16	Nonylphenol	25154-52-3	14
Chlorinated paraffin	8029-39-8	12-14	o-Dichlorobenzene	95-50-1	13
Chlorobenzene	108-90-7	13	Oleic acid	112-80-11	17
Cocoa butter		6	Oleyl alcohol	143-28-2	14
Corn oil	8001-30-7	8	Palm oil		7
Cottenseed oil	8001-29-4	6	Paraffin wax	8002-74-2	10
Cyclohexane	110-82-7	15	Petrolatum	8009-03-8	7-8
Decahydronaphthalene	91-17-8	15	Petroleum naphtha	8030-30-6	14
Decyl acetate	112-30-1	11	Pine oil	8002-09-3	16
Decyl alcohol	25339-17-7	15	Polyethylene wax	9002-88-4	15
Diethylaniline	91-66-7	14	PPG-15 Stearyl Ether	25231-24-4	7
Diisooctyl phthalate	27554-26-3	13	Propylene tetramer	9003-97-0	14
Diisopropylbenzene	25321-09-9	15	Raseseed oil	8002-13-9	7
Dimer acid	61788-89-4	14	Ricinoleic acid	141-22-0	16
Dimethyl silicone	9016-00-6	9	Safflower		7
Ethylaniline	103-69-5	13	Soybean oil		6
Ethyl benzoate	93-89-0	13	Stearyl alcohol	112-92-5	15-16
Fenchone	1196-79-5	12	Stylene	100-42-5	15
Hexadecyl alcohol	36653-82-4	11-12	Tallow	61789-97-7	6
Isodecyl alcohol	25339-17-7	14	Toluene	108-88-3	15
Isopropyl myristate	110-27-0	12	Tridecyl alcohol	112-70-9	14
Isopropyl palmitate	142-91-6	12	Trichlorotrifluoroethane	76-13-1	14
Isostearic acid	2724-58-5	15-16	Tricresyl phosphate	1330-78-1	17
Kerosene	8008-20-6	12	Xylene	1330-20-7	14
Lanolin, anhydrous	8006-54-1	12	<i>W/O Emulsion</i>		
Lard	61789-99-9	5	Gasoline		7
Lauramine	124-22-1	12	Kerosene	8008-20-6	6
Lauric acid	143-07-7	16	Mineral oil		6
			Stearyl alcohol	112-92-5	7

에서 친유성인 부분과 친수성인 부분의 균형을 나타내며, 친유성 유화제는 HLB가 낮으며, 친수성 유화제는 HLB가 높게 나타난다. 일반적으로 O/W emulsion에

필요한 HLB값은 8-18사이로 알려져 있다.<sup>6)</sup>

본 연구에서 사용된 100% 소화약제의 샘플은 주 계면활성제로서 Ethoxylated sorbitol oleates 그리고 부

Table 2. HLB value for surfactants<sup>6)</sup>

Surfactant	Type	HLB	Surfactant	Type	HLB
Oleic acid (112-80-1)	N	1.0	POE (20) sorbitan trioleate (9005-70-3)	N	11.0
Lanolin alcohols (61788-49-6)	N	1.0	POE (8) stearic acid (monoester) (9004-99-3)	N	11.1
Acetylated sucrose diester	N	1.0	POE (50) sorbitol hexaoleate (9011-29-4)	N	11.4
Ethylene glycol distearate (627-83-8)	N	1.3	POE (6) tridecyl alcohol (24938-91-8)	N	11.4
Acetylated monoglycerides	N	1.5	PEG 400 monostearate (9004-99-3)	N	11.7
Sorbitan trioleate (26266-58-6)	N	1.8	Alkyl aryl sulfonate	A	11.7
Glycerol dioleate (25637-84-7)	N	1.8	Triethanolamine oleate soap (2717-15-9)	A	12.0
Sorbitan tristearate (26658-19-5)	N	2.1	POE (8) nonylphenol (9016-45-9)	N	12.3
Ethylene glycol monostearate (111-60-4)	N	2.9	POE (10) stearyl alcohol (9005-00-9)	N	12.4
Sucrose distearate (27195-16-0)	N	3.0	POE (8) tridecyl alcohol (24938-91-8)	N	12.7
Decaglycerol decaoleate (11094-60-3)	N	3.0	POP/POE condensate	N	12.7
Propylene glycol monostearate (1323-39-3)	N	3.4	POE (8) lauric acid (monoester) (9004-81-3)	N	12.8
Glycerol Monooleate (25496-72-4)	N	3.4	POE (10) cetyl alcohol (9004-95-9)	N	12.9
Diglycerine sesquioleate	N	3.5	Acetylated POE (10) lanolin	N	13.0
Sorbitan sesquioleate (8007-43-0)	N	3.7	POE (20) glycerol monostearate (53195-79-2)	N	13.1
Glycerol monostearate (31566-31-1)	N	3.8	PEG 400 monolaurate (9004-81-3)	N	13.1
Acetylated monoglycerides (stearate)	N	3.8	POE (16) lanolin alcohol (61790-81-6)	N	13.2
Decaglycerol octaoleate (66734-10-9)	N	4.0	POE (4) sorbitan monolaurate (9005-64-5)	N	13.3
Diethylene glycol monostearate (106-11-6)	N	4.3	POE (10) nonylphenol (9016-45-9)	N	13.3
Sorbitan monooleate (1333-68-2)	N	4.3	POE (15) tall oil fatty acids (ester)	N	13.4
Propylene glycol monolaurate (10108-22-2)	N	4.5	POE (10) octylphenol (9002-93-1)	N	13.6
High-molecular-weight fatty amine blend	C	4.5	PEG 600 monostearate (004-99-3)	N	13.6
POE (1.5) nonyl phenol (9016-45-9)	N	4.6	POP/POE condensate	N	13.8
Sorbitan monostearate (1338-41-6)	N	4.7	Tertiary amines: POE fatty amines	C	13.9
POE (2) oleyl alcohol (25190-05-0)	N	4.9	POE (24) cholesterol (27321-96-6)	N	14.0
POE (2) stearyl alcohol (9005-00-9)	N	4.9	POE (14) nonylphenol (9016-45-9)	N	14.4
POE sorbitol beeswax derivative	N	5.0	POE (12) lauryl alcohol (9002-92-0)	N	14.5
PEG 200 distearate (9005-08-7)	N	5.0	POE (20) sorbitan monostearate (9005-67-8)	N	14.9
Calcium stearoxyl-2-lactylate (5793-94-2)	N	5.1	Sucrose monolaurate (25339-99-5)	N	15.0
Glycerol monolaurate (27215-38-9)	N	5.2	POE (20) sorbitan monooleate (9005-65-6)	N	15.0
POE (2) octyl alcohol (27252-75-1)	N	5.3	POE (16) lanolin alcohols (8051-96-5)	N	15.0
Sodium-O-stearylactate (18200-72-1)	N	5.7	Acetylated POE (9) lanolin (68784-35-0)	N	15.0
Decaglycerol tetraoleate	N	6.0	POE (20) stearyl alcohol (9005-00-9)	N	15.3
PEG 300 dilaurate (9005-02-1)	N	6.3	POE (20) oleyl alcohol (25190-05-0)	N	15.3
Sorbitan monopalmitate (26266-57-9)	N	6.7	PEG 1000 monooleate (9004-96-0)	N	15.4
N,N,-Dimethylstearamide (3886-90-6)	N	7.0	POE (20) tallow amine (61790-82-7)	C	15.5
PEG 400 distearate (900508-7)	N	7.2	POE (20) sorbitan monopalmitate (9005-66-7)	N	15.6
High-molecular-weight amine blend	C	7.5	POE (20) cetyl alcohol (9004-95-9)	N	15.7
POE (5) lanolin alcohol (61790-91-8)	N	7.7	POE (25) propylene glycol monostearate (37231-60-0)	N	16.0
Polyethylene glycol ether of linear alcohol	N	7.7	POE (20) nonylphenol (9016-45-9)	N	16.0
POE octylphenol (9002-93-1)	N	7.8	PEG 1000 monolaurate (9004-81-3)	N	16.5
Soya lecithin (8020-84-6)	N	8.0	POP/POE condensate	N	16.8
Diacetylated tartaric acid esters of monoglycerides	N	8.0	POE (20) sorbitan monolaurate (9005-64-5)	N	16.9
POE (4) stearic acid (monoester) (9004-99-3)	N	8.0	POE (23) lauryl alcohol (9002-92-0)	N	16.9
Sodium Stearoylactylate (18200-72-1)	A	8.3	POE (40) stearic acid (monester) (9004-99-3)	N	16.9
Sorbitan monolaurate (1338-43-8)	N	8.6	POE (50) lanolin (ether and ester) (61790-81-6)	N	17.0
POE (4) nonylphenol (9016-45-9)	N	8.9	POE (25) soyasterol (68648-64-6)	N	17.0

Table 2. Continued

Surfactant	Type	HLB	Surfactant	Type	HLB
Calcium dodecyl benzene sulfonate (26264-06-2)	A	9.0	POE (30) nonylphenol (9016-45-9)	N	17.1
Isopropyl ester of lanolin fatty acids	N	9.0	PEG 4000 distearate (9005-08-7)	N	17.3
POE (4) tridecyl alcohol (24938-91-8)	N	9.3	POE (50) stearic acid (monoester) (9004-99-3)	N	17.9
POE (4) lauryl alcohol (9002-92-0)	N	9.5	Sodium Oleate (143-91-1)	N	18.0
POP/POE condensate	N	9.5	POE (70) dinonylphenol (9014-93-1)	N	18.0
POE (5) sorbitan monooleate (9005-65-6)	N	10.0	POE (20) castor oil (ether, ester) (61791-12-6)	N	18.1
POE (40) sorbitol hexaoleate (9011-29-4)	N	10.2	POP/POE condensate	N	18.7
PEG 400 dilaurate (9005-02-1)	N	10.4	Potassium oleate (143-18-0)	N	20.0
POE (5) nonylphenol (9016-45-9)	N	10.5	N-cetyl-N-ethyl morpholinium ethylsulfate(35%) (78-21-7)	N	30.0
POE (20) sorbitan tristearate (9005-71-4)	N	10.5	Ammonium lauryl sulfate (2235-54-3)	N	31.0
POP/POE condensate (9003-11-6)	N	10.6	Triethanolamine lauryl sulfate (139-96-8)	N	34.0
POE (6) nonylphenol (9016-45-9)	N	10.9	Sodium alkyl sulfate	N	40.0
Glycerol monostearate-self emulsifying (31566-31-1)	A	11.0			
POE (20) lanolin (ether and ester)	N	11.0			

Table 3. Component and composition of the 100% agent

Component	wt%
Ethoxylated sorbitol septaoleate, containing 40 moles of EO	35.6
Ethoxylated sorbitol trioleate, containing 40-50 moles of EO	13.9
Linear ethoxylated secondary alcohol, containing 7-11 moles EO	20.7
Polyoxyethylene cetyl ether, containing 18-22 moles of EO	3.3
Water	26.5
Total	100.0

계면활성제로서 Linear ethoxylated secondary alcohol 을 선택하여 조제하였으며 그의 조성을 Table 3에 나타내었으며 HLB값은 11으로 나타났다.

2.2 계면활성제 함유 약제의 물성 측정

시험 약제의 화학적 조성 및 수분 측정을 위하여 HPLC, IR 분석 및 Mettler Toledo, HR73 Moisture Analyzer를 이용하여 105°C에서의 2시간 동안 방치하여 무게 감량을 측정하였다. 계면활성제가 함유된 약제의 물성 및 소방기준 적합성에 대한 국내 기준은 따로 규정된 것이 없다. 따라서 미량의 소화약제가 함유된 침윤소화약제의 기준을 따라서 물성을 측정하기 위하여 조제된 시약품 시료를 6% 수용액으로 하여 한국소

방검정공사의 소화약제 검정기준 제8조(침윤소화약제) 시험 항목에 따라서 일부 항목의 물성을 측정하였다.<sup>7)</sup>

2.2.1 표면장력

Du Nouy Ring Method을 이용하여 6% 수용액의 소화약제의 표면장력을 20°C에서 측정하였다.

2.2.2 어는점과 끓는점

KS M 0003과 KS M 0008 화학제품의 측정방법에 따라서 어는점과 끓는점을 측정하였다.

2.2.3 용해도

20°C에서 육안으로 계면활성제의 용해여부를 관찰하였다.

2.2.4 소화약제의 유화 안정성

상온에서 6 wt%의 소화약제 100 ml를 50°C까지 가열한 후 이를 다시 0°C까지 냉각시킨다. 온도 변화 과정에서 침전·분리되는 현상을 육안으로 관찰하였다. 또한 6 wt%의 소화약제를 30일간 정치하여 침전·분리 현상을 육안으로 확인하였다. 동일 소화약제를 1시간 동안 -20°C에서 냉동시킨 후 다시 16°C 상승시켜 1분간 교반하고 냉동전의 상태로 환원하는지를 관찰하였다.

2.2.5 수소이온농도

KS M0011 수용액의 pH 측정방법에 따라서 측정하였다.

2.2.6 점도

6 wt% 소화약제의 점도를 B형 점도계를 이용하여 0°C, 16°C, 그리고 50°C에서 측정하였다.

### 2.2.7 금속부식시험

계면활성제가 함유된 수용액 및 증류수에 가로 125 mm, 세로 25 mm, 두께 1.6 mm의 구리(KS D 5201의 C1201, 밀도 8.92 g/ml), 황동(KS D 5201의 C4621, 밀도 8.42 g/ml) 및 청동(KS D 5206의 C5111, 밀도 8.89 g/ml) 시험편을 각각 상온에서 30일간 침지하였을 경우 부식에 의한 중량손실을 측정된 후 다음 식에 의하여 부식율(cm/년)을 계산하였다.

부식율(cm/년) =

$$\frac{719.4 \times \text{중량손실(g)}}{12 \times \text{금속의 밀도(g/ml)} \times \text{넓이(cm}^2) \times \text{노출시간(h)}}$$

### 2.2.8 소방호스 적용성시험

소방호스재료를 가로 25 mm, 세로 25 mm로 시험관을 만들어 중량을 측정한 후, 30일간 계면활성제 함유 수용액에 침지하여 팽윤, 연화 또는 분해 등을 측정하였다.

### 2.3 유화율 시험

소화약제의 유화율은 KS M 2800-1984(유출유 처리제) 규격에 정한 방법에 따라서 Fig. 1에 나타난 장치에서 수행하였다. 본 연구에서는 heptane 10 ml에 소화약제 2 ml를 가하여 혼합된 시료를 갖고 수행하였다. 분액깔대기(100 ml, 40 mm OD×150 mmL, Cylinder형 Glass) 두 개에 각각 증류수 50 ml 및 혼합시료 2 ml를 정확하게 취하여 진탕기에 고정시킨 후 상하 진폭 40 mm, 1분간에 300회 상하 왕복운동을 5분간 실시한다. 그 후 하나는 30초간 다른 하나는 10분간 정지시킨 후 분액 깔대기 하부로부터 유화층을 약 30 ml씩 뽑아 비이커에 취한다. 채취한 유화층을 교반하면서 그 중에서 25 ml를 피펫으로 정확히 취하여

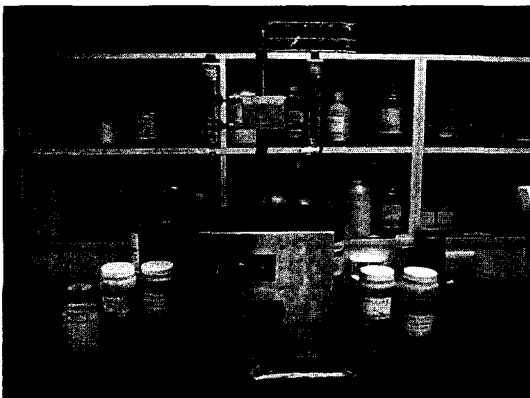


Fig. 1. Equipment for emulsion performance test.

다른 분액 깔대기에 각각 담는다. 여기에 염화칼슘 약 3 g을 가하고, 사업화탄소 10 ml로서 유화층의 유분을 추출하는 조작을 3회 반복한다. 추출한 사업화탄소 층을 합하여 여기에 무수황산나트륨을 적당히 가하여 탈수시킨 후 이소프로판올 5 ml를 가해서 맑게하고, 사업화탄소를 더 가하여 전량이 50 ml가 되게한다. 이것을 파장 650 nm으로 흡광도를 측정하고 시험에 사용한 헵تان으로부터 미리 작성된 검량선에 따라서 추출액 25 ml 중 유분량(ml)을 구하고 다음 식에 따라서 유화율을 산출한다.

$$\text{유화율(\%)} = \frac{\text{추출액 중의 유분량(ml)}}{2 \times 10 / 12 \times 25 / 52} \times 100$$

### 2.4 실험실적 점화농도 실험

소화성능을 검사하는 방법으로 점화농도 실험을 수행하였다. 헵탄과 6 wt%의 소화약제를 각각 정량하여 총 무게가 10 g이 되게 혼합한 시료를 페트리 접시에 넣고 상온에서 점화하여 발화하는 것을 육안으로 확인하였다. 이 때 점차적으로 헵탄의 조성을 증가시키면서 최초로 점화가 되는 시점을 관찰하였다.

### 2.5 소화성능 field test

계면활성제 함유 소화약제 시료의 소화성능 현장 소화시험은 소방법 제50조 제2항의 수동식소화기의 검정 기술기준(KOFEIS 0101)의 B급 화재용소화기의 소화능력시험에 따라서 수행하였다. 이 때 연소물로서는 헵탄을 대신하여 휘발유를 사용하였다. 측정을 위하여 물을 휘발유 부피의 4배(120 mm 깊이)로 먼저 모형에 붓고 그 위에 휘발유를 30 mm 깊이로 채워 넣고 모형에 불을 붙인 다음 1분 후에 소화를 개시하였다. 모형은 수치 번호 1과 5를 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 소화약제의 물성

#### 3.1.1 IR분석

Fig. 2에는 소화약제에 대한 IR 분석결과를 나타내었다. Sorbitan mono-oleate polyoxy-ethylene 등이 함유되어 있는 혼합물의 특성으로 진동수가 692.5 cm<sup>-1</sup>, 754.2 cm<sup>-1</sup>, 1496.9 cm<sup>-1</sup>, 1599.1 cm<sup>-1</sup>, 3063.2 cm<sup>-1</sup>의 벤젠 고리 밴드와 2924.3 cm<sup>-1</sup>와 2856.8 cm<sup>-1</sup> 무근의 알킬 그룹 밴드, 1738 cm<sup>-1</sup>의 에스테르 그룹 밴드 특성이 나타나고 있다.

#### 3.1.2 HPLC 분석

소화약제를 HPLC로 분석한 결과를 Fig. 3에 나타내

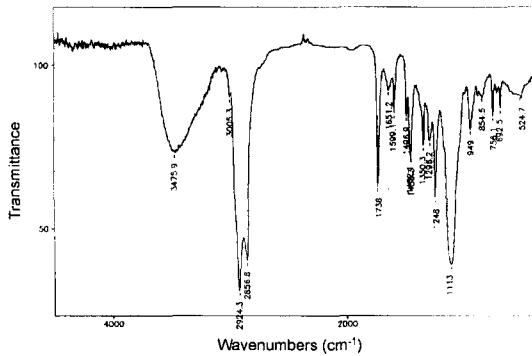


Fig. 2. Infra red spectrum of the sample agent.

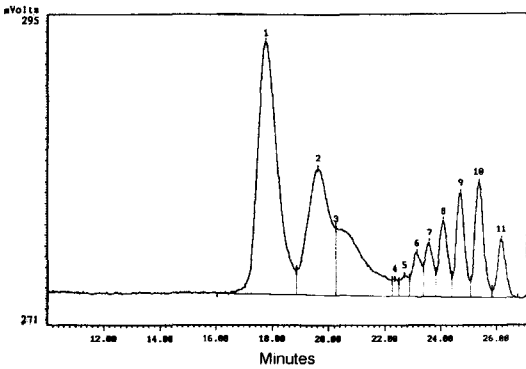


Fig. 3. HPLC analysis of the sample agent.

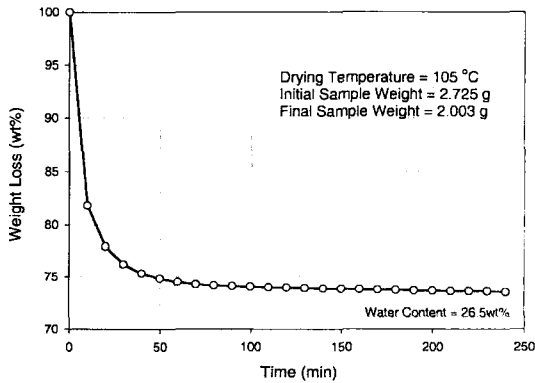


Fig. 4. Water content of the sample agent.

었다. 11개 이상의 성분으로 구성되어 있으나 체류시간이 17.7 min에서 나타난 것이 약 35.6%, 19.6분에 나타난 것이 20.7%, 20.3분에 나타난 것이 13.9%로 3개의 주성분의 합이 70%를 넘고 있다.

3.1.3 수분의 측정

Fig. 4는 Mettler Toledo사의 HR73 Moisture

Table 4. Physical properties of agents

Physical Properties	Result
Surface tension	29 dyne/cm @ 16°C 32 dyne/cm @ 20°C
Freezing point	-3°C
Boiling point	100°C
Solubility in water	soluble
Stability of emulsion	stable at room temperature and 50°C. restore its original state after remelting
pH	6.7 @ 16°C 6.9 @ 20°C
Viscosity	850 cP @ 0°C 220 cP @ 16°C 40 cP @ 50°C
Specific Gravity	1.03 @ 25°C 1.02 @ 23°C

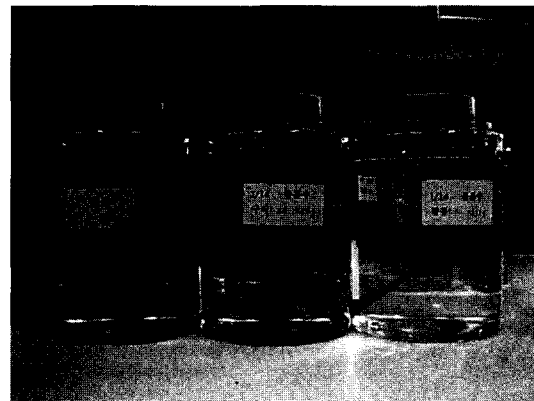


Fig. 5. Corrosion test.

Analyzer 장치를 사용하여 105°C의 일정한 온도에서 2시간 동안 초기 중량이 2.725 g의 시료를 방치하여 250분 동안 무게 감량을 측정하여 얻은 결과로서 실제 수분 함량이 약 26.5 wt. %임을 확인하였다.

3.1.4 소화약제의 물성

Table 4에 소화약제의 물성을 나타내었다. 물의 표면장력이 20°C에서 72.9 dyne/cm에서 계면활성제가 들어감으로써 32 dyne/cm로 하강하였다.

3.2 금속 부식 시험

금속 부식 실험은 6 wt%의 소화약제 수용액과 증류수에 가로 125 mm, 세로 25 mm, 두께 1.6 mm의 구리, 황동 및 청동 시편을 각각 상온에서 30일간 담가 두었다가 전후의 무게를 측정하였다. Fig. 5와 Fig.

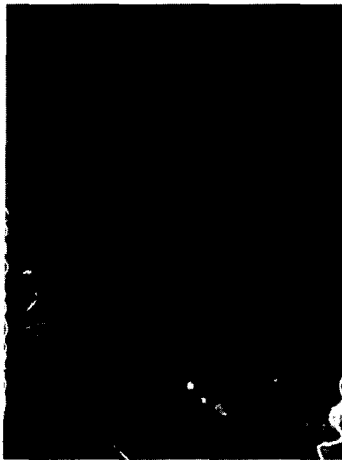


Fig. 6. Specimen shape after corrosion test.

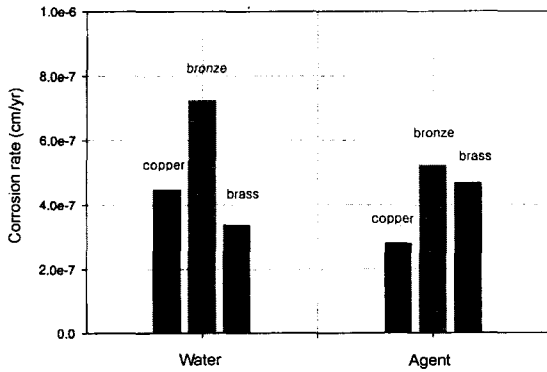


Fig. 7. Corrosion rate for the selected metals in the agent and the water.

6에 각각 증류수에 부식실험 과정과 30일 후 꺼낸 건조한 시편의 사진을 실었다.

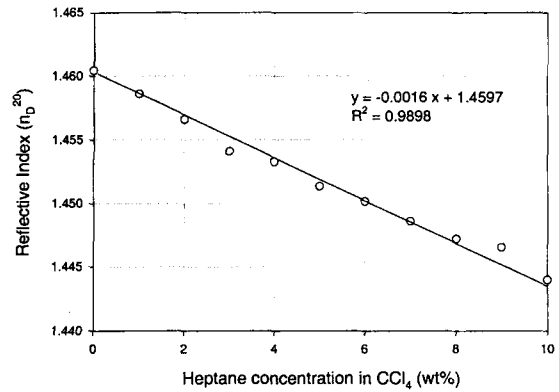


Fig. 8. Reflective index vs. heptane concentration in CCl<sub>4</sub>.

Fig. 7에는 증류수와 소화약제에서의 구리, 청동, 황동의 부식율을 나타내었다. 본 연구에서 사용한 소화약제의 시료는 증류수에서의 부식율과 비교하여 오차 범위에서 동일한 부식 속도를 갖는 것으로 나타났으며, 금속의 종류에 따라서는 일반적으로 청동이 가장 부식속도가 큰 경향을 갖고 있는 것으로 나타나고 있다.

3.3 소방호스 적용시험

소방호스 재료를 가로 25 mm, 세로 25 mm 크기의 정사각형 시편을 만들어 중량을 측정 후, 30일간 계면활성제 함유 수용액에 침지하여 관찰한 결과 팽윤, 연화 또는 분해 등이 발생하지 않았다. 중량변화는 증류수인 경우에는 -0.2 wt%, 소화약제 시료의 경우에는 +0.6 wt%가 변하여 오차 범위에서 중량의 변화는 없는 것으로 나타나 소화약제가 소방호스에 재료에 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

Table 5-A. Ignition test for the mixture of heptane and agent sample

Condition : No Water added				
Volume of heptane (ml)	Volume of 6% solution (ml)	volume % of heptane	Combustion upon ignition	Remark
0.1	9.9	1	non-inflammable	
0.2	9.8	2	non-inflammable	
0.3	9.7	3	non-inflammable	
0.4	9.6	4	non-inflammable	
0.5	9.5	5	non-inflammable	
0.6	9.4	6	non-inflammable	
0.7	9.3	7	flammable	immediately extinguish
0.8	9.2	8	flammable	
0.9	9.1	9	flammable	
1	9	10	flammable	



**Table 5-B.** Ignition test for the mixture of heptane and agent sample

Procedure: 1. completely mixing of 6% agent with heptane 2. added the above solution on the water layer 3. ignition				
Volume of heptane (ml)	Volume of 6% solution (ml)	Volume % of heptane	Volume of water (ml)	Combustion upon ignition
0.1	9.9	1	0.4	non-inflammable
0.2	9.8	2	0.8	non-inflammable
0.3	9.7	3	1.2	non-inflammable
0.4	9.6	4	1.6	non-inflammable
0.5	9.5	5	2	non-inflammable
0.6	9.4	6	2.4	non-inflammable
0.7	9.3	7	2.8	flammable
0.8	9.2	8	3.2	flammable
0.9	9.1	9	3.6	flammable
1	9	10	4	flammable

**Table 5-C.** Ignition test for the mixture of heptane and agent sample

Procedure: 1. completely mixing of 6% agent with heptane 2. added the above solution on the water layer and mixing again 3. ignition				
Volume of heptane (ml)	Volume of 6% solution (ml)	Volume % of heptane	Volume of water (ml)	Combustion upon ignition
0.1	9.9	1	0.4	non-inflammable
0.2	9.8	2	0.8	non-inflammable
0.3	9.7	3	1.2	non-inflammable
0.4	9.6	4	1.6	non-inflammable
0.5	9.5	5	2	non-inflammable
0.6	9.4	6	2.4	non-inflammable
0.7	9.3	7	2.8	flammable
0.8	9.2	8	3.2	flammable
0.9	9.1	9	3.6	flammable
1	9	10	4	flammable

**3.4 유화율 측정**

Fig. 8에는 사염화탄소 용액에서 헵탄의 농도에 따른 굴절율 변화 실험을 한 결과를 나타내었으며 이 자료를 기초로 하여 유화실험에서 얻은 굴절율로부터 사염화탄소 용매내의 헵탄의 농도를 구하였다. 소화약제 시료의 유화율은 30초에서 85%, 10분에서 14%으로 나타나 우수한 헵탄의 유화성능이 우수한 것으로 판단된다.

**3.5 실험실적 소화성능 시험**

실험실적인 소화성능실험은 3가지 다른 화재 조건을 가상하여 물이 존재하거나 없는 경우에서 수행하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다. Table 5-A, B, C에는

페트리 접시에 물을 전혀 넣지 않고 10 ml의 혼합액을 점화 실험한 결과이다.

Table 5에 나타난 것처럼 헵탄을 부피로 7% 이상 함유한 혼합액은 점화를 하는 경우에도 연소가 일어났다. 이 실험으로부터 계면활성제가 유화되어 소화시키는 화재의 경우에는 소화약제가 6% 함유된 수용액이 최소한 헵탄의 약 13.4배가 들어가면 실질적으로 연소되지 않는 범위에 들어간다는 것을 알 수 있었다.

**3.6 소화성능시험**

Fig. 9에는 소화약제가 6% 함유된 수용액을 사용하여 B급 화재용 소화기의 소화능력(5단위)을 시험하는 과정을 나타낸 사진이다.



Fig. 9. Field test for performance of the 6% agent sample.

소화기는 직사각형으로 9.0 kg/cm<sup>2</sup>의 압력에 3.8 l/min의 방사속도를 내도록 하였다. 6% 소화약제를 사용하여 B급 화재용 소화기의 소화능력(1단위)을 실험을 수행한 결과 3.8 l/min의 유량으로 약 6분에 소화가 완료되어 다시는 불이 붙지 않았다. 이 실험 결과로부터 휘발유 6 liter(1단위 모형에 채워진 휘발유의 부피)를 연소하는데 필요한 6% 소화약제의 양은 약 23 liter가 소요되는 것으로 나타났다. 즉 휘발유의 부피보다 4배 가량의 6% 소화약제가 투입되는 경우 화재를 진압할 수 있는 능력을 가지고 있다. 6% 소화약제, 10% 소화약제, 15% 소화약제를 가지고 1단위 B급 화재 진화에 사용하였을 때 각각 360초, 221초, 158초 후에 진압되었으며, 약제는 23l, 14l, 10l가 소요되어 소화성능이 계면활성제의 양에 따라서 비례하는 것으로 나타났다. 비교 실험을 위하여 5단위의 모형에 휘발유를 채워 넣고 계면활성제가 전혀 함유되지 않은 물을 사용하여 소화시험을 하였으나 6분 50초에 소화가 되는 듯 하

다가 다시 재 발화하여 불꽃이 크게 자라났으며, 휘발유가 모두 연소되어 고갈될 때까지 소화가 되지 않았다.

#### 4. 결 론

환경 친화적이면서 저가의 계면활성제가 다량 함유된 소화약제를 조제하고 이의 물성과 소화약제 성능시험을 수행하였다. 본 연구에서는 휘발유의 부피보다 4배 가량의 6% 소화약제가 투입되는 경우 화재를 진압할 수 있는 능력을 가지고 있는 것을 알 수 있었다. 1단위 B급 화재 진화 시험을 수행한 결과 소화성능은 계면활성제의 농도에 정비례하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 개발하고자하는 소화약제는 연료로 작용되는 기름을 몰과 유화시켜 근본적으로 기화되는 것을 방지하여 소화에 도움을 주는 방식으로 작용하기 때문에 유류에 의한 화재에 특히 효과적으로 대처할 수 있는 가능성이 높은 것으로 나타났다. 국내에는 아직까지 본 연구에서 조제한 계면활성제 함유 소화약제에 대한 규정이나 연구가 미비한 상태에 있다.

따라서 본 연구가 이러한 약제의 개발에 첫발이 되어 후속 연구에 도움이 되길 바란다. 앞으로 유류 화재의 경우에도 기름의 물성과 증발속도, 분해속도 등이 다르기 때문에 이에 적합한 계면활성제를 선택에 대한 지속적인 연구가 요구된다.

#### 참고문헌

1. Lepain, A. and Charlier, A.G.R., "Surface-active Compositions and Method for Dispersing Oil Slicks", US Patent 4469603(1984).
2. Becker, K.W., Jackson, J.R., Lindblom, G.P. and Walsh, M.A., "Hydrocarbon Solvent-based Dispersant Formulation and its use in the Dispersion of Viscous Oil Spills", US Patent 4502962(1985).
3. Canevari, G.P., "Chemical Dispersant for Viscous Oils", US Patent 4560482(1985).
4. Byford, D.C., Green, P.J. and Lewis, A., "Dispersant Composition", US Patent 4597893 (1986).
5. Charlier, A.G.R., "Dispersant Compositions for Treating Oil Slicks", US Patent 4830759(1989).
6. Myers, D., "Surfactant Science and Technology", pp.243-245, VCH Publishers, Inc. New York(1988).
7. 한국소방검정공사의 소화약제 검정기준 제8조(침윤소화약제).