



기어유의 변천추이에 따른 연구동향

KAIST 機械潤滑研究室長
權 五 寬 博士

목 차

1. 서 론	phorous Ep gear additives
2. 자동차용기어윤활	3. 산업용기어윤활
2-1 Lead Soap-active sulfur gear additives	3-1 Lead Soap/Lead Salts-active sulfur additives
2-2 Multipurpose Ep gear lubricants	3-2 Monofunctional Sulfur-phosphorous Ep gear additives
2-3 자동차용 기어유의 분류	3-3 Multifunctional sulfur-phosphorous Ep gear additives
2-4 Sulfur-Phosphorous Ep gear additives	4. 기어유의 연구동향
2-5 Multifunctional sulfur-phos-	

1. 서 론

윤활유공업의 지난 50년을 돌이켜 볼 때 자동차 및 기계공업의 급속한 발달로 인해 각종기계들의 복잡, 가속화로 윤활시스템들이 가혹해 짐에 따라 다양한 윤활제들이 개발되어 왔다. 윤활첨가제 중 극압첨가제는 E.P. 첨가제로 명명되며 윤활시스템에서 두금속의 치명적인 접촉을 방지하기 위해 사용되는 화합물로 이의 기원은 lead soap으로 hypoid기어의 개발에 기인되었으며 2차세계대전동안 많은 연구개발로 다목적용기어윤활제가 출현된 이래 현재에 이르고 있다. 극압첨가제의 변천과정을 살펴보면 다음과 같다.

Eariest successful treatment-lead Soap (lead naphthenate an active sulfur compds)

Late 1930's -chlorine and moderately active sulfur present in the same or different organic molecules
World war II period-sulfur, Chlorine and phosphorous in suitable organic carriers.

Most recent types (1960-) -sulfur and phosphorous in suitable organic carriers.

그리고 상업적으로 사용되는 전형적인 극압첨가제들은 chlorinated paraffin wax (cl : 40~60%) Sulfurized fatty oils, sulfurized

hydrocarbons, aliphatic and aromatic polysulfides, phospho sulfurized fatty oils. Organic phosphites, alkyl phosphates, lead maphthenate, zinc and lead dialkyl dithio carbamate, zinc dialkyl dithio phosphate, anti-mony or molybdenium phosphorodithio ate 등이다. 일반적으로 기어유는 산업용 기어유와 자동차용기어유로 구분되어 사용되며, 1960년대까지는 같은 종류의 극압첨가제들이 사용되었으나 그후로는 서로 독자적인 additive formulation이 적용되고 있다. 즉 high dosage level에서는 자동차용 EP기어유의 formulation, low dosage level에서는 산업용 기어유의 formulation이 적용되고 있다.

본문에서는 과거 50년동안 적용된 자동차용 및 산업용 기어유의 성장·성능과 아울러 앞으로 연구동향에 대해 논의하고자 한다.

2. 자동차용 기어유허

자동차용 기어유허에 있어서 가장 중요한 요소는 rear axle이다. 초기의 승용차들은 대부분 final drives 혹은 differentials 기어로 spiral bevel type 이었으며, 이러한 기어들의 유허은 첨가제가 포함되지 않은 광유로도 충분히 가능하였다. 1925년에 Gleason은 automotives final drives로 hypoid gear를 개발하였으며 1927년에 Packard Motocar company에 의해 hypoid gear로 대체하였다. 이러한 hypoid rear gear는 differential assembly의 크기 및 무게감소가능, 정적조업 등의 다양한 특성들을 지닌 잇점으로 10년 이내 미국자동차산업에 hypoid axle의 적용이 가능하게 하였다. 아울러 영국등 유럽지역에서도 hypoid gear의 적용이 점차로 증가되었다.

그러나 hypoid rear axle은 spiral bevel axle보다 가혹한 유허조건하에서 작동됨으로 spiral bevel axle의 유허제로는 이의 유허조건을 만족시킬 수 없으므로 hypoid gear의 기어유가 개발되었다. 이러한 기어유는 광유에 lead soap-active sulfur 첨가제를 첨가한 것으로 hypoid gear의 유허에 양호한 유허조건을 제공하였다.

lead soap-active sulfur 첨가제는 1869년 E. E. Hendrick's plumbolum에 의해 최초로 개발되었으며, 첨가제중 lead soap은 lead oleate 혹은 lead naphthenate이며, 황화합물은 sulfurized hydrocarbon으로 극압성 및 내마모성이 우수하며, 이때부터 lead soap-active sulfur 첨가제가 극압첨가제 (extreme pressure additive)로 알려지게 되었다. lead soap-active sulfur E. P. 기어유는 high speed-low torque조건하에서 작동되는 hypoid rear axle에 적용시킨 결과 요구성상이 우수한 것을 알 수 있었다. Table 1은 Lead soap-active sulfur Ep 기어유의 formulation을 나타낸 것이다.

Table 1-Lead Soap-Active Sulfur EP Gear Lubricant.

	Weight Percent
Lead Naphthenate*	7.0
Sulfurized Sperm Oil	3.0
Diphenylamine	0.3
200 Solvent Bright Stock	66.7
500 @ 100 Solvent Oil	23.0
	100.0

General Motor가 1937년 Model에 hypoid gear를 적용시켜 이의 기어유로 hypoid EP 기어유를 사용하였으나 Table 2에 나타내듯이 hypoid EP 기어유는 drain intervals의 변화를 가져왔다. 그 이유로서 lead soap-active sulfur EP 기어유는 승용차의 경우 drain intervals의 변화는 없으나 트럭이나 버스의 경우에서 active sulfur에 기인된 corrosive wear의 발생으로 drain intervals의 변화를 가져왔다. 즉 승용차는 high speed-low torque의 유허조건이나 버스나 트럭의 경우는 low speed-high torque의 유허조건을 지니기 때문이다.

따라서 광범위한 유허조건(high speed-low torque, low speed-high torque)을 만족시킬 수 있는 다목적용기어유의 필요성이 대두되었으며 그 결과 다목적용 기어유로 sulfur-chlorine-lead 또는 sulfur-phosphorous의 극압첨가제들로 formulation된 기어유가 개발되었다.

2-1 Lead Soap-Active Sulfur Gear Additive

Table 2. Drain Intervals for General Motors Hypoid Rear Axles

Model Year	Lubricant Type	Drain Interval
1937	Hypoid PP Lubricant or Special Hypoid Lubricant	Twice yearly, or every 6,000 miles.
1938-39	Hypoid Lubricant	Twice yearly or every 6,000 to 10,000 miles.
1940-41	Passenger Car Duty Hypoid lubricant, All Purpose or Universal Gear Lubricant	Twice yearly or every 6,000 to 10,000 miles or once a year every 15,000 miles.
1946	Passenger Car Duty Hypoid Lubricant, All Purpose Gear Lubricant	Twice yearly or every 6,000 to 10,000miles or do not drain.
1947	Passenger Car Duty Hypoid Lubricant, All Purpose Gear Lubricant	Twice yearly or every 6,000 to 10,000miles or do not drain

Table 3. Early EP Gear Oil Additives

	A	B	C	D
Year	1925	1932	1943	1948
Chemistry	Lead Sulfur	Sulfur Chlorine	Sulfur Chlorine Phosphorus	Lead Chlorine Sulfur
Sulfur, wt %	3.5	10	8	4.9
Phosphorus, wt %	—	—	0.5	—
Chlorine, wt %	—	34	26	4.6
Lead, wt %	20	—	—	7.6
Dosage, wt %	10	5-10	5-10	28.5

2 - 2 Multipurpose EP Gear Lubricants

Table 3은 초기의 다목적용 EP 기어유들로 납성분은 lead soap에 함유된 함량이며 heavy metal soap은 방청성이 양호하며 antiscor 성을 향상시키기 위해 synergistic agent로서 작용한다. 그리고 염소는 chlorinated paraffin wax 또는 chlorinated Kerosene에 함유되어

있다. 윤활유에 함유되어 있는 황과 염소는 금속표면과 반응하여 금속황화물, 금속 염화물을 형성하며 형성된 반응물들은 고체윤활제처럼 작용한다고 알려져 있다.

Table 4는 초기 다목적용기어유로 사용되었던 납, 염소, 황화합물과 그후로 사용된 인화합물들의 종류를 나타낸 것이다. 황-염소-인계의 기어유는 납성분을 포함하고 있는 기어유와 유사한 반응메카니즘을 지닌다고 알려져 왔다. 황화합물은 주로 sulfurized fats 혹은 Xanthates등이며 염소화합물은 chlorinated paraffin wax가 사용되었으며, 인화합물은 alkyl acid phosphates, dialkyl phosphites등으로 염소화합물보다 내마모성이 우수하다.

따라서 다목적용 기어유는 아래와 같은 특성을 지니고 있으며 초기 lead soap-active sulfur EP 기어유보다 성능이 우수하였다.

- Adequate antiscor, anticuff and antigall protection
- Oxidation and thermal stability
- Rust and corrosion protection

2 - 3 자동차용 기어유의 분류

1920년대초 SAE (Society of Automotive Engineers)는 transmission과 rear axle 기어유를 점도별로 80, 90, 110, 160 및 250으로 분류하였으며 그후 110과 160대신 140으로대치하였다. 그리고 1940년초 미국 석유회회 (API : American Petroleum Institute)는 자동차용기어유를 윤활조건에 따라 분류하였으며 이는 다음과 같다.

- regular - type gear lubricant
- worm - type gear lubricant

Table 4. Lead, Chlorine, Sulfur and Phosphorus-Containing Chemicals Used in Multipurpose EP Gear Lubricants.

Lead	Chlorine	Sulfur	Phosphorus
Lead Oleate	Chlorinated Kerosene	Sulfurized Sperm Oil	Dialkyl Phosphites
Lead Naphthenate	Chlorinated Paraffin Waxes	Sulfurized Lard Oil	Alkyl Acid Phosphates
Lead Riconoleate		Xanthates	Dithiophosphates
Lead 12-Hydroxystearate	Sulfo-Chlorinated Sperm Oil	Dibenzyl Polysulfides	
		Sulfurized Pinene	
		Sulfurized Oleic Acid	

-mild-type Ep gear lubricant
 -multipurpose-type gear lubricant
 이러한 분류는 Table 5에 자세히 설명되고 있다.

그러나 API분류에 따라 기어유가 사용되었으나 다목적용기어유는 광범위한 유행조건 (high speed-low torque, low speed-high torque)을 만족시킬 수 없으므로 이의 요구성상을 만족시키기 위한 새로운 극압첨가제들이 개발되었다.

2-4 sulfur-phosphorous Ep Gear Additives

유행조건이 가혹해짐에 따라 내열성, 산화안정성등이 우수한 기어유가 요구되었으며 그 결과 1960년대초 sulfur-phosphorous계의 새로운 Ep 기어유가 개발되었다. 이러한 Ep 기어유에 첨가되어 있는 극압첨가제중 황화합물은 sulfurized olefin이며, 인화합물은 alkyl acid phosphates, alkyl phosphites 및 dithio phosphoric acid 유도체등이며 이외에 녹방지제, 소포방지제 및 부식방지제가 포함되어 있다. s-p Ep 기어유의 formulation은 Table 6에 나타내었다.

Table 5. Early API Gear Lubricant Designations

Regular-Type Gear Lubricant-This term designates gear lubricants generally suitable for use in automotive transmissions and in most spiral-bevel and worm-gear differentials.

Worm-Type Gear Lubricant-This term designates gear lubricants generally suitable for use in truck type worm gear rear axles under very severe conditions of service.

Mild-Type EP Gear Lubricant-This term designates gear lubricants having load-carrying properties suitable for many automotive transmissions and spiral-bevel differentials under severe conditions of speed and load.

Multipurpose-Type Gear Lubricant-This term designates gear lubricants having load-carrying properties suitable for hypoid gear and other differentials and many transmissions.

Table 6. Representative First-Generation (Monofunctional) Automotive S-P Gear Oil Additives.

	Weight Percent				
	A	B	C	D	E
Sulfur	32	30	27	23	22
Phosphorus	1.8	1.8	1.8	1.4	1.4
Nitrogen	0.9	0.7	0.8	0.8	0.9
Dosage					
GL-5	6.5	6.5	6.2	7.0	7.0
GL-4	3.25	3.25	3.1	3.5	3.5

s-p monofunctional Ep 기어유는 성능이 우수한 이유로 오랫동안 사용되었으며 아직도 일부 적용되고 있다.

그러나 산업이 발달함에 따라 유행시스템이 복잡, 가혹해 짐에 따라 기존의 formulation으로는 이들의 요구성능을 만족시킬 수 없는 이유로 기존보다 성능이 우수한 기어유의 formulation이 필요하며 새로운 기어유는 다음과 같은 요구성능을 충족시켜야 한다.

- multiplicity of application
- Improved rust and corrosion inhibition
- Improved frictional characteristics
- Improved thermal oxidation stability
- Improved oxidation corrosion characteristics

따라서 복잡, 가혹해진 유행시스템의 요구성능을 만족키위해 multifunctional s-p Ep 기어유가 개발되었다.

2-5 Multifunctional sulfur-phosphorous Ep Gear Additives.

multifunctional s-p Ep 기어유는 1973년에 출현되었으며 s-p Ep 기어유의 formulation에 따라 자동차용, 산업용기어유로 구분되어 사용되었다. multifunctional 극압첨가제에서 황화합물은 sulfurized olefins, sulfurized olefins 과 sulfurized sperm oil의 혼합물등이 사용되었으며 인화합물은 monofunctional 첨가제에 적용된 화합물과 동일하였다.

Table 7은 multifunctional Ep 기어유의 formulation을 나타낸 것으로 multifunctional

Table 7. Representative Second-Generation (Multifunctional) S-P Gear Oil Additives

	Weight Percent				
	A	B	C	D	E
Sulfur	28.8	31	26.5	26.5	30
Phosphorus	1.8	2	1.4	1.6	1.4
Nitrogen	0.7	0.8	0.8	0.9	0.5
Dosage					
Industrial	3.1	2.0	3.5	3.5	2.0
Automotive					
GL-5	6.2	5.25	7.5	7.5	5.25
GL-4	3.1	2.6	3.5	3.5	3.75

Table 8. Performance Comparison of First to Second Generation of Automotive S-P Gear Additives.

	Sulfur-Phosphorus Additive	
	First	Second
	Generation	Generation
	S·P	
CRC1-37	Pass	Pass
CRC1-42	Pass	Pass
Limited Slip (Big Wheel/Little Wheel)	500	2000
Miles to Chatter		
Copper Strip Corrosion (ASTM D 130)	3a	1b
3Hours @ 250° F/121°C		
Rustinhibition		
CRC1-33	Pass	Pass
ASTM D 665	Fail	Pass
Oxidation Corrosion		
International Harvester BT-10	Fail	Pass
Thermal Oxidation Stability		
FTM2504 (GRC1-60)	Pass	Pass
Beaker Oven Test		
Sludge	Medium	Clean
Steel Strip, Deposits	Medium	Clean
Timken Load Arm (ASTM D 2782) OK Load, 1b	45	60
Mack GO-F Approval	Yes	Yes
Mack GO-G Approval	No	Yes
Multiplicity of Application	No	Yes

Ep기어유는 초기 monofunctional 기어유보다 formulation이 훨씬 더 복잡하며 부식, 산화안정성 및 demulsibility 등의 물리적인 성상면에서 매우 우수하다. 이의 결과는 Table 8에 수록하였으며 Table 8은 multifunctional Ep 기어유와 monofunctional Ep기어유의 성상을 비교한 것이다. 따라서 monofunction-multifunctional S-p Ep기어유의 formulation 기술은 과거 수십 년동안 광범위하게 적용되어 왔으며 오늘날까지 이르고 있다.

3. 산업용기어윤활

산업용기어유는 helical, herringbone, spur, worm 및 bevel gear 등의 윤활에 적용되며, 이들의 극압성은 자동차용기어유보다 다소 낮은 경향을 지닌다. 일반적으로 산업용기어유는 scoring, galling, spalling을 방지하기 위하여 load-carrying ability가 우수해야 하며 감속기어 시스템, 강이나 종이 가공시 사용되는 rolling mill system (mill pinions, bearing, worm gear roll table gears) 등에 사용된다. 산업용기어유는 산업용기어시스템이 자동차보다는 다소 요구 성능이 복잡하지 않는 이유로 자동차용기어유보다 이의 개발연구가 활성화되지 않았다.

3-1. Lead soap/Lead salts-Active sulfur

lead soaps (lead naphthenate, lead oleate) 혹은 lead salts (lead carbamate)와 active sulfur (sulfurized sperm oil, fats)를 포함하고 있는 산업용 Ep기어유는 오랫동안 산업용기어시스템의 윤활에 사용되어 왔다. 1950년대말 산업의 발달에 따라, 특히 steel mill 산업의 발달로 고온에서의 열안정성 및 내하중성 등의 가혹한 윤활조건과 납성분의 공해문제를 해결하기 위해 산업용기어유의 개발이 대두되었다.

1960년초 u.s. steel specification 222 (Table 9)가 산업용기어유성상의 기초자료로 제시되었으며 이의 요구성상을 만족시키기 위해 s-p계의 극압첨가제가 개발되어 1960년말경 lead 계기어유 대신 s-p계 Ep기어유가 사용되었으며 이는 열안정성 및 산화안정성 등의 물리적인 성상이 매우 우수하였다.

Table. 9. Comparison of U. S. Steel 222 and 224 Specifications

	U. S. Steel	
	222	224
Copper strip Corrosion (ASTM D 130) @ 212° F/100°C	1aMax.	1b Max
Timken Load Arm Test (ASTM D 2782)	60Min.	60Min.
OK Load, lb.		
Four-Ball EP Test (ASTM D 2783) Weld Point, Kg	250Min.	250Min.
Load Wear Index	40Min.	45Min.
Four-Ball Wear (20Kg, 1Hr, 130° F, 1800RPM)	-	0.35Max.
Scar Diameter, mm		
Oxidation (312 Hours @ 203° F/95°C, 10 liters Air/Hr)	7Max.	-
Viscosity Increase @ 210° F/99°C, %		
Oxidation (312 Hours @ 250° F/121°C, 10 liters Air/Hr)	-	6Max.
Visosity Increase @ 210° F/99°C, %		
FZG	9Min.	11Min.
Stages Pass		
Dynamic Demulsibility (180° F/82.2°C) Top Layer Water, %	7.5Max.	-
Bottom Laver Water, %	75Min	-
Demulsibility (ASTM D2711)	-	2Max.
Water in Oil, %		
Free Water, ML	-	80Min.
Emulsion, ML	-	1 Max.

Table 10. Representative First Generation (Monofunctional) Industrial S-P Gear Oil Additives

	Weight Percent					
	A	B	C	D	E	F
Sulfur	18.5	20.5	25	15	33	19
Phosphorus	0.6	1.1	1.6	1.7	1.4	1.9
Nitrogen	0.2	0.7	0.6	0.65	1.0	1.1
Dosage	4.0	3.5	2.5	2.0	1.25	1.75

To meet u-s steel 224 requirements.

3 - 2. Monofunctional sulfur-phosphorous. monofunctional s-p계 Ep기어유는 1960년말 이후 광범위하게 산업용기어들의 윤활제로 사용 되었으며 윤활조건에 따라 극압첨가제의 formulation이 다르다. Table 10은 산업용 Ep기 어유의 s-p계 monofunctional 첨가제의 formulation 을 나타낸 것으로 초기의 lead soap 대신 sulfurized sperm oil이 사용되었으며, 인화합

물은 alkyl acid phosphates, dialkyl phosphites, dithio phosphoric acid 유도체등이 사용되었다. 황화합물은 고래유의 사용금지로 sulfurized vegetable oil 혹은 sulfurized animal fats으로 대체 되었으며 극압첨가제중 황화합물은 high speed-low torque, 인화합물은 low speed-high torque 의 윤활조건하에서 효과적으로 작용한다.

1971년에 새로운 u. s. steel specification 224 가 제시되었으며 이는 222 specification보다 가 혹한 윤활조건, 즉 산화안정성 및 열안정성, 극 압 및 내마모성, 내수성 등의 물리적인 성상들이 요구되었다.

초기의 lead soap-active sulfur Ep기어유와 s-p계 Ep기어유의 성능시험비교는 Table 11에 나타내었으며 Table 11에서 보는 바와 같이 s-p 계 Ep기어유의 성상이 우수함을 알 수 있다.

그러나 lead soap-active sulfur Ep기어유는 극압성이 매우 우수하기 때문에 아직도 일부 적 용되고 있으나 s-p계의 Ep기어유가 광범위하게 사용되고 있다. 현재 산업용기어유의 분류는

Table 11. Comparison of Performance of S-P Industrial EP Gear Oils Performance of Leaded Oils

	S-P Type	Lead Type
Copper Strip Corrosion (ASTMD 130) @100°C (212°F)	1a	1a
Timken Load Arm Test (ASTMD2782)		
OK Load, 1b	65	65
Four-Ball EP Test (ASTMD2783)		
Weld Point, Kg	250	315
Load Wear Index	51.60	51.60
Four-Ball Wear (20Kg, 1Hr. 130°F/54°C. 1,800 RPM)		
Scar Diameter, mm	0.28	0.60
Oxidation (312 Hours @121°C/250°F, 10 liters Air/Hr)		
Viscosity Increase @210°/99°C, %	3.50	8.60
Sludge	Light	Heavy
FZG		
Stages Pass	Pass 12	Pass 9 Fail 10
Demulsibility (ASTMD2711)		
Water in Oil, %	0.50	2.00
Free Water, ML	84.450	78.20
Emulsion, ML	0	1.90

Table 12. ISO Viscosity Classification

ISO Viscosity Grade	Kinematic Viscosity cst @ 40°C		
	Maximum	Minimum	Midpoint
2	2.42	1.98	2.2
3	3.52	2.88	3.2
5	5.06	4.14	4.6
7	7.48	6.12	6.8
10	11.0	9.0	10.0
15	16.5	13.5	15.0
22	24.2	19.8	22.0
32	35.2	28.8	32.0
46	50.6	41.4	46.0
68	74.8	61.2	68.0
100	110.0	90.0	100.0
150	165.0	135.0	150.0
220	242.0	198.0	220.0
320	352.0	288.0	320.0
460	506.0	414.0	460.0
680	748.0	612.0	680.0
1000	1100.0	900.0	1000.0
1500	1650.0	1350.0	1500.0

ISO (International standards organization)에 의해 점도에 따라 분류되어 있으며 이는 Table 12에 나타내었다. 그리고 AGMA (American Gear Manufactures Association)에 의해서도 분류되고 있으며 산업용기어유의 요구성능을 ASTM 방법에 준해 다양한 Ep기어유의 성상을 Table 13에 수록하였다. Table 13에서 성능시험중 극압성시험은 FZG시험 및 Timken시험으로 행하였으며 열안정성 및 산화안정성은 금속촉매의 유무 하에서 시험하였다. 그리고 동판부식시험은 ASTM D-665A와 D-665B시험에 준했다.

3 - 3. Multifunctional sulfur-phosphorous Additives

1970년대 초 sulfur-phosphorous계의 multifunctional Ep기어유가 개발되었으며 이러한 second generation s-p계기어유는 high dosage level에서 자동차용기어유의 formulation에, low dosage level에서 산업용기어유의 formulation에 적용되어 왔다. multifunctional Ep기어유는 매우 우수한 성상을 지녔으며 현재까지 광범위하게 적용되고 있다.

Table. 13. Industrial EP Gear Oil Specifications

SPECIFICATION	Method	Cinc. Milacron				
		U. S. Steel AGMA 224	AGMA 250.04	AGMA 251.02	ASLE 68-1,2,3,4	p59, p63, p74, p76, p77, p78
Timken OK Load, 1b (Min.)	D2782	60	60	60	45	45
FourBall EP						
Weld Point, Kg (Min.)	D2783	250	-	-	-	-
Load Wear Index (Min.)		45	-	-	-	-
FZG Stages (Min.)		11	11	9	-	-
Four-Ball Wear Scar						
MM (Max.)	D2266	0.35	-	-	-	-
Oxidation Stability (a)95°C						
312Hours	D2893					
viscosity Increase, % (Max.)			10	10	10	
Precipitation No. (Max)	D91				0.10	
Oxidation Stability (a)121°C						
312Hours	S200					
Viscosity Increase % (Max.)		6				
Precipitation No. (Max.)		0.10				
Thermal stability	Procedure B		-	-	-	-
with Cu and Fe Catalyst (a)						
101°C, 72Hours						
Viscosity Increase% (Max.)						5
Sludge						None
Cu Rod (Max)		-	-			2
Fe Rod		-	-	-	-	No discoloration c deposit
Copper Corrosion	D130					
100°C, 3Hours (Max.)		1		1		
121°C, 3Hours (Max.)			1		2	
steel Corrosion						
Distilled water (a)24 Hours	D665A			Pass	Pass	Pass
Syn. Sea water (a)24 Hours	D665B		Pass			
Demulsibility	D2711					
Free Water Total		80				
ML (Min.)						
Emulsion, ML (Max.)		1				
Water in Oil% (Max.)		2				

4. 기어유의 연구동향

과거 50년동안 자동차 및 산업용기어유의 변천 과정을 고찰하였으나 향후 50년의 예견은 매우

어렵다. 최근에는 자동차와 산업용부문에서 윤활제적용의 통합화와 아울러 에너지절감면에서 윤활제개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있

는 추세이다.

따라서 21세기에 당면과제의 연구동향에 대해 간단히 논의코자 한다.

●. energy-efficient gear oils

Complex gear system에서 양호한 윤활조건을 제공하기 위해 기유의 적정점도, 합성유의 사용 및 새로운 극압첨가제의 개발로 energy-efficient 기어유의 formulation을 설정하여 energy-saving에 기여할 것으로 사료된다.

●. new chemistry

기존의 윤활제 formulation에서 벗어나 점점 가혹해져가는 윤활시스템을 만족시킬 수 있는 새로운 윤활제 formulations이 필요하다. 최근 극압첨가제로 붕소화합물이 개발되었으며 아직 초기 보급단계에 있다.

●. synthetic oils

현재 사용되고 있는 합성유는 olefin oligomers, 에스타르, 실리콘화합물로 이들의 사용으로 improved durability of gears, longer drain intervals, cleaner operation 및 energy saving등이 향상되었다. 그러나 합성유는 가격이 고가인 이유로 일부 특수용도에만 제한되어 사용되어 왔으나 합성공정의 간소화 및 대량생산

으로 보편화를 가져올 수 있을 것으로 사료된다.

●. new automotive service categories

향후 개발될 자동차용기어유는 다음과 같은 요구성능을 충족시킬 수 있는 윤활제가 개발되어야 한다.

- fuel economy
- shear stability
- long drain intervals or fill for life
- improved thermal stability
- compatibility with non-ferrous metals
- high temperature antiwear capabilities

●. new industrial specifications

산업용윤활제도 역시 윤활조건이 가혹해짐에 따라 이를 만족시킬 수 있는 윤활제의 개발이 요구되며 새로운 윤활제의 요구성능들은 다음과 같다.

- improved oxidation performance
- improved antifforming characteristics
- exceptional extreme pressure properties
- universal use (gearing, hydraulic, slideway, clutches, metal working 등)
- New performance for the new materials (for examples, ceramics, etc)