

## VHVI 기유의 제품 적용 기술에 관한 연구 - 건설 중장비용 유압유

권완섭<sup>†</sup> · 문우식 · 윤한희\* · 김경웅\*\*

SK 대덕기술원 석유제품기술팀, \*현대중공업 설계부, \*\*한국과학기술원 기계공학과

### A Study On the Application of VHVI Base Oil - Hydraulic Fluid for Construction Equipments

W.S. Kwon<sup>†</sup>, W.S. Moon, H.H. Yoon\* and K.W. Kim\*\*

SK R&D Center, \*Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

\*\*Korea Advanced Institute Science and Technology, KAIST

**Abstract** – This study represents the newly advanced formulation of hydraulic fluids for extended drain interval and introduces the performance results of used oil samples from various excavators. The used oil samples, in this paper, show that there is a sharp change in viscosity drop and moderate additive depletion when viscosity index of hydraulic oil is very high. For the extension of hydraulic fluid life, it is necessary to improve the stability of viscosity and oxidation. New target properties from the used oil analysis were proposed for extended life. Performance of newly developed hydraulic oil based on used oil analysis is compared with previously used one. The properties of new formulation are the viscosity index of 140 and improved thermal stability consists of VHVI base oil. Field test results showed the possibility of extension of fluid life. Additionally, for development of high performance product, new required properties and performances were discussed.

**Key words** – extended drain interval, hydraulic fluid, used oil analysis, VHVI base oil.

#### 1. 서 론

기유는 윤활유의 대부분을 차지하고 있는 구성 성분으로 기유의 특성이 윤활유 완제품의 성능에 미치는 영향은 첨가제의 영향 못지 않게 매우 크다. 특히 기유의 조성에 따라 제품을 합성유계 제품과 광유계 제품으로 구분하기도 한다. 합성유 제품은 분자 단위의 조작을 통하여 생산된 비교적 구성 성분이 일정한 기유를 사용한 제품을 말하며 광유계 제품은 원유로부터 일련의 정제 공정을 거쳐 생산된 기유를 사용하여 제조된 제품을 말한다. 수소 분해화 공정을 통해 생산된 고점도지수기유(Very High Viscosity Index base oil, 이하 VHVI 기유)의 경우 그 특성이 합성유인 폴리알파올레핀(polylalphaolefin)과 유사하고 합성유와 비교

하여 가격 경쟁력을 가지고 있어, 최근 윤활유에 사용되는 기유로서의 수요가 계속 증대되고 있다. 특히 VHVI 기유는 제조 공정 및 기유의 성능상 특성을 고려하여 합성유로 분류 되기도 한다. VHVI 기유 및 폴리알파올레핀과 같은 고성능 기유의 사용이 기하급수적으로 증가하게 된 것은 연비 및 환경과 관련된 윤활유 규격이 강화되어 기존의 범용기유(conventional base oil)만으로는 요구성능을 만족 시킬 수 없기 때문이다. 특히 연비 규제와 관련되어 저점도 엔진유가 개발되고 있는데 증발 감량 규제에 따라 고성능 기유를 적용하지 않고는 규격을 만족 시킬 수 없게 되었다. 유압유의 경우에는 고성능 기유의 사용이 엔진유와 같이 급격히 증가하고 있지는 않으나 고급 기유의 사용이 꾸준히 증가하고 있다. 이는 유압유 규격에 있어 기존의 범용기유로도 만족 시킬 수 있기 때문인 것으로 보인다. 그러나 고성능 기유의 우수한 첨가제 응답

<sup>†</sup>주저자 · 책임저자 : riah@skcorp.com

**Table 1. Comparison of hydraulic systems of construction equipment and industrial machine with required hydraulic oil properties [1,2,3]**

	Construction equipments	Industrial Machine	Related Hydraulic oil properties
Hydraulic pump and motor	Piston pump and motor, gear pump	Vane pump, gear pump, piston pump and motor	High antiwear properties
Fluid pressure, MPa	32 – 42	13 – 32	
Fluid temperature, °C	80 – 100 (110)	50 – 60	High thermal stability
Cold start	Yes, <-20°C	No	Low temperature fluidity
Deaeration	Poor	Good	air release
Fluid Tank size	Small	Large	Antifoam
Fluid Tank type	Pressurized or closed	opened	Proper oxidation stability
Wet parking brake system	Yes	No	High friction coefficient
Water contamination,%	<0.2	>1.0	Demulsibility, antirust
Water drain maintenance	No	Yes	Demulsibility
Upper limits of dust contamination	ISO 19/15	ISO 16/13	Dispersancy

특성(Additive response) 및 점도 특성을 고려할 때 에너지 절감형 또는 롱 라이프(long-life)제품 개발에 있어 VHVI 기유의 사용은 필수적이라 할 수 있다. 특히 윤활유의 작동조건이 가혹한 건설중장비용 유압유의 경우 VHVI 기유의 적용이 제품의 성능을 개선하는데 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

내마모성 유압유는 크게 건설중장비용 유압유와 일반 산업용 유압유로 구분할 수 있다. 각각의 용도에 따른 운전 조건과 이에 따라 요구되는 유압유의 특성을 표 1에 나타내었다[1,2,3]. 건설 중장비의 경우 대부분 실외에서 작업을 하기 때문에 사용되는 온도 범위가 넓고, 저온에서 중장비를 기동하는 경우도 빈번히 발생한다.

그 결과로 점도 지수가 높은 다급 점도의 유압유가 주로 사용된다. 또한 건설중장비는 윤활유 탱크 용량이 상대적으로 적고 작동 온도가 높기 때문에 윤활유에 열부하가 매우 크게 작용하는 특징을 지니고 있다. 그리고 일반 산업용 유압시스템과 비교하여 유압유의 수분 침입 가능성이 매우 낮아 수분리성이 좋은 윤활유를 요구하지는 않는다.

본 연구에서는 2종류의 서로 다른 기유를 적용한 상용 건설 중장비용 유압유에 대하여 사용 시간별로 시료를 채취하여 성상을 분석하였다. 상용 유압유에 대한 분석 결과를 바탕으로 VHVI 기유를 적용한 장수명 유압유 제품을 개발하여 4000시간 동안 실기 평가를 실시하였으며, 실기 평가 기간 동안 시료를 채취하

여 그 결과를 상용 시료 2종과 비교하였다.

## 2. 사용유 분석

### 2-1. 시료유

건설중장비용 유압유 모니터링에 사용된 유압유는 3종으로, 그 중 2종은 상용으로 현재 판매되고 있거나 판매되었던 제품이다. 산업용 제품 유압유 Fluid-A, Fluid-B의 특징과 물성을 표 2에 나타내었다. 표 2에 나타낸 Fluid-C는 뒷 절에서 설명될 유압유로 본 연구에서 진행한 사용유 분석 결과를 바탕으로 개발된 VHVI 기유를 적용한 고성능 유압유 제품이다.

Fluid-A와 Fluid-B는 매우 높은 점도지수를 나타내는 고점도지수 유압유 제품으로 Fluid-A는 VHVI 기유를 적용한 제품이고, Fluid-B는 용제추출(Solvent Refined, 이하 범용기유로 표시)기유를 적용하여 제조된 제품이다. 범용기유의 점도 지수는 100 정도로 120 이상을 나타내는 VHVI 기유와 비교하여 매우 낮다.

Fluid-A와 Fluid-B는 사용된 기유의 점도 지수가 20 이상 차이가 남에도 불구하고 비슷한 점도 지수를 나타내고 있는데 이로부터 Fluid-B는 다량의 점도지수향 상제를 포함하고 있거나 분자량이 매우 큰 점도지수향 상제를 포함하고 있음을 추정할 수 있다. 본 연구에서 사용된 3종의 유압유는 내마모성 첨가제로 아연디티오인산(Zinc dialkyldithiophosphate, 이하 ZnDTP)을 사용하는데 첨가된 ZnDTP의 양을 아연함량을 측정하여

**Table 2. Properties of hydraulic fluids**

	Fluid-A	Fluid-B	Fluid-C
Base oil	Hydrocracking (VHVI)	Conventional (SR)	Hydrocracking (VHVI)
Additive Package	add-A	Add-B	Add-C
KV <sup>1)</sup> @40°C, cSt	48.85	46.01	46.89
KV <sup>1)</sup> @100°C, cSt	9.02	8.69	7.93
Viscosity index	168	171	140
# of sample	22	25	**
Total acid number, mgKOH/g	0.3	0.31	0.45
RBOT <sup>2)</sup> , min	460	400	770
4ball wear <sup>3)</sup> , mm	0.45	0.55	0.44
Pour point, °C	-42.5	-	-37.5

1) kinematic viscosity

2) Rotating Bomb Oxidation stability Test. Induction time

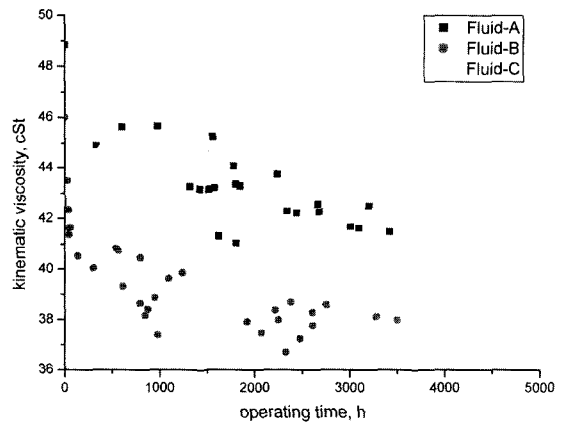
3) wear scar diameter, 40 kg, 1200 rpm, 75°C, 1 h

추정하였다. 이연 농도를 기준으로 Fluid-A는 300 ppm 수준의 low Zn형, Fluid-B는 600 ppm 수준의 high Zn형 내마모성 유압유로 나눌 수 있다.

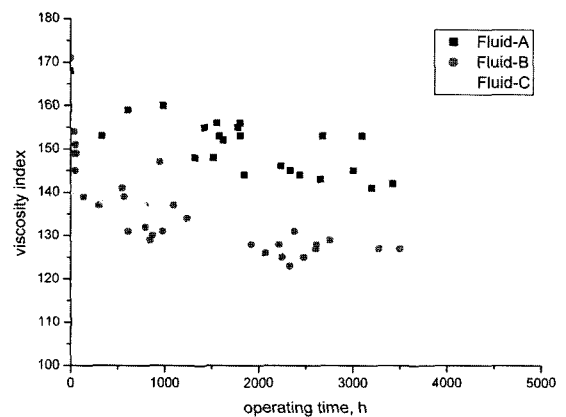
본 연구에서 채취한 사용유 샘플은 신규로 제작된 굴삭기에 처음으로 주입되었던 제품으로, 고객에게 인도된 후 유압유의 전량 교환이 없었던 굴삭기에서 채취하였다. 시료의 채취는 유압시스템이 충분히 예열된 상태에서 수행하였다. 시료 채취시 장비의 운전시간은 조사를 하였으나 보충량에 관한 정보는 입수하지 못했다. 그러나 채취한 시료의 수가 많기 때문에 경향 분석을 통한 유통유의 성능 평가는 가능할 것으로 판단된다.

**2-2. 사용유 분석 결과**

채취된 사용유는 동점도, 전산가, 소포성, 4구식 마모시험, 마모분 함유량 등의 분석을 통하여 성상을 평가하였다. Fig. 1은 40°C에서의 동점도 변화를 사용 시간에 대하여 표시한 것이다. 동점도는 CANNON사의 자동점도계 CAV-4를 이용하여 측정하였다. Fluid-B의 경우 사용 초기에 급격히 점도가 감소하는 경향을 나타내고 있다. Fluid-B는 초기 점도 감소가 심하여 사용 시간 100시간 이내에 ISO VG 46의 점도 하한인 41.4cSt보다 낮은 동점도 값을 나타내었다. 이는 Fluid-B의 경우 점도지수향상제를 다량 사용하고 전단 안정성이 좋지 못한 첨가제를 선정하였기 때문인 것으로 판단된다. 반면 Fluid-A의 경우 Fluid-B와 비교하여 초기 점도 감소가 적고 시간 경과에 따라 지속적으로 점도 감소가 발생하고 있다. 이는 기유의 점도 지



**Fig. 1. Change in viscosity with operation time.**



**Fig. 2. Change of viscosity index in used oils during operation.**

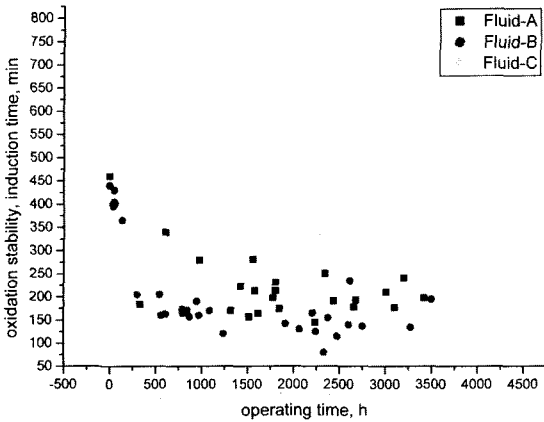


Fig. 3. Change of Zn content in used oils during operation.

수가 매우 높기 때문에 점도지수향상제의 투입량이 적고 전단안정성이 우수하기 때문이다. 그러나 Fluid-A의 경우에도 10% 이상의 점도 감소율을 나타내므로 신유의 점도에 따라 ISO VG 46의 범위를 벗어날 수 있다. 반면 뒷 절에서 설명될 Fluid-C의 경우 사용 시간에 따른 동점도 변화가 거의 관찰되지 않고 있다. 점도지수의 경우 VHVI 기유를 사용한 Fluid-A는 실기 시험 기간 동안 140이상의 값을 항상 나타내고 있으며 범용기유를 사용한 Fluid-B의 경우 125 수준까지 감소하였다.

Fig. 3은 사용유에 존재하는 아연의 함량을 나타낸 것이다. 사용유 중에 존재하는 아연의 함량은 윤활유를 자일렌(xylene)에 희석한 후 유도 플라즈마 발광분석법(Inductively coupled plasma)을 이용하여 측정하였다. 본 연구에서는 아연 함량을 측정하여 내마모성 첨가제의 잔존량으로 활용하였다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 사용시간에 따른 아연의 함량 변화는 크지 않았으며 단조로이 감소하는 경향을 나타내었다. 급격한 Zn 함량 감소는 외부에서 다른 제품이 혼유된 것으로 판단된다.

유압유의 내마모성은 셀식 사구 시험기를 이용하여 40 kg, 75°C, 1200 rpm의 조건에서 1시간 동안 수행한 후 강구(steel ball)의 마모흔 직경을 평균하여 구하였다. 유압유 시료유의 사용중 Zn의 함량 변화가 적었던 것처럼 사구식 마모 시험에서도 마모흔 직경변화는 거의 없었다. 대부분의 사용유 시료가 0.5 mm 수준이었다. 내마모성 첨가제가 없는 경우의 마모흔 직경은 0.7-0.8 mm 수준으로 사용유에서 내마모성 첨가제가 효과적으로 작용하고 있음을 알 수 있다.

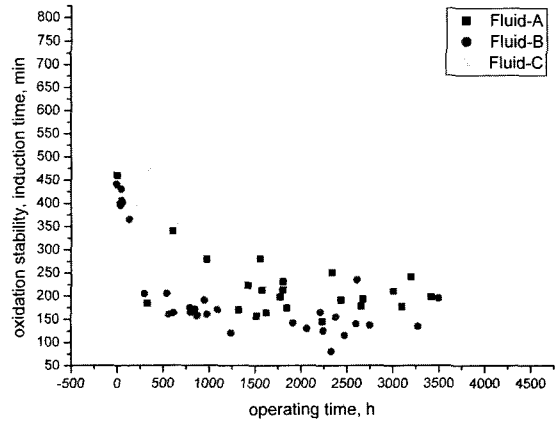


Fig. 4. RBOT oxidation time of used oils.

S. Ohkawa 등은 Zn이 300 ppm 수준인 low Zn형 제품 사용시 펌프 파손 사례를 보고하였으나[1] 본 연구에서 채취한 시료의 경우 200 ppm 수준인 경우에도 펌프의 파손 없이 정상적인 기능을 수행하고 있었다. 그러나 향후 펌프의 고압화 경향을 고려할 때 교환 시점에도 300 ppm 수준의 Zn가 남아있는 것이 적합할 것으로 판단된다. 이는 300 ppm의 아연을 포함하고 있는 low Zn형 유압유 제품이 각종 펌프 시험 규격을 모두 만족시킬 수 있기 때문이다. 반면 과도한 Zn 함량은 슬러지 생성의 원인이 되므로 감소 경향을 파악하여 적절하게 내마모성 첨가제 함량을 결정하는 것이 중요하다.

유압유에 잔존하는 산화안정성을 평가하기 위하여 회전분베식 산화안정도 시험(Rotary bomb oxidation stability test, RBOT)을 수행하여 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 Fluid-B의 산화안정성은 Fluid-A의 산화안정성과 비교하여 상대적으로 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 사용된 기유의 조성 차이에 기인한 것으로 VHVI 기유를 사용할 경우 산화방지제의 소모율이 적기 때문인 것으로 추정된다. Fluid-A, Fluid-B 모두 급격한 전산가 또는 점도의 증가를 초래할 가능성이 있을 정도의 산화안정도 감소를 나타내지는 않았으나 사용 수명 연장을 위하여는 현재 수준 보다 높은 산화 안정도가 필요할 것으로 판단 된다. 특히 VHVI기유의 경우 산화 현상이 발생할 경우 그 속도가 범용기유를 적용한 경우 보다 매우 빠르게 진행되기 때문에 200 분 이상의 값을 항상 유지하는 것이 중요할 것으로 판단 된다. 일정 시험 시간 이상에서는 RBOT 값이 감소하지 않고 산포

된 값을 계속해서 나타내는데 이는 유압유의 보충에 의하여 일부 회복된 것으로 판단된다. RBOT는 일반적으로 터빈유의 산화안정도 평가에 사용되는 시험법이 나 내마모성 유압유의 산화안정성에도 많이 이용되고 있다. 터빈유에서의 일반적인 사용한계 결정에는 신유 값의 25%, 100분 또는 50분 등의 기준이 이용된다 [4,5]. 일반적인 교환기준을 참고 하였을 경우 Fluid-A, Fluid-B 모두 3000시간 정도의 사용 수명을 예상할 수 있다.

전산가(Total acid number)의 경우 모든 시료에서 급격한 증가를 나타내지 않고 있다. 이는 산화방지제가 여전히 성능을 발휘하고 있음을 보여준 RBOT결과와 일치한다. RBOT의 감소 이후에는 전산가, 점도의 증가 및 과도한 슬러지가 동시에 발생할 것으로 예상되나 본 연구에서는 이러한 단계 있는 시료는 없었다.

마모분 분석결과는 매우 산포된 결과를 나타내는데 이는 마모가 외부 입자의 혼입 또는 장비 제작자의 설계, 운전조건에 의하여 많은 영향을 받기 때문이다. 마모의 경우 유압유의 성능뿐 아니라 오염도 관리가 매우 중요한 역할을 하게 되므로 시험 결과가 상대적으로 분산된 결과를 보여준다. 또한 신규 조립된 굴삭기로부터 채취한 시료이고 각각의 굴삭기가 다른 조건에서 운전되었기 때문에 경향을 파악하기 어려우므로 아연 함량의 변화, 시구식 마모시험 결과를 유압유의 내마모성 지표로 활용하였다.

### 3. VHVI 기유를 적용한 제품 설계

전질의 사용유 분석 결과에서 유압유 장수명화를 위하여는 점도 지수향상제의 파단에 의한 점도 변화 억제 및 산화안정성을 개선하여 사용 중 산화에 의한 점도 변화 및 산화물의 생성이 없는 제품을 설계하는 것이 필요함을 확인하였다.

점도와 관련된 요구 성능과 이에 대응하는 배합식 설계를 먼저 수행하였다. 표 3은 동량의 점도지수 향상제를 투여하고 기유의 조성이 같은 4종의 배합식에 대하여 전단안정성 평가를 실시한 결과이다. VII-1은 Fluid-A에 사용중인 점도지수향상제이고 VII-2는 전단안정성이 A와 비교하여 열등한 제품이며 VII-3는 전단안정성이 매우 우수하여 자동변속기유나 수동 변속기유에 사용되는 제품이다. 전단안정성의 평가는 초음파 전단안정성 시험법과 디젤인젝터 시험법을 이용하여 수행하였다. 초음파 전단안정성 시험법은 산업용 윤

**Table 3. Shear stability of different viscosity index improvers**

	Fluid-A	Fluid-E	Fluid-F	Fluid G
VHVI 150 N, %	85	85	85	10.5
VHVI 250 N, %	10.5	10.5	10.5	85
VII-1	4.5	2.25		
VII-2		2.25	4.5	
VII-3				4.5
<hr/>				
KV, @40°C <sup>1)</sup>	48.42	48.91	49.38	46.74
KV@100°C <sup>1)</sup>	8.897	9.032	9.148	8.291
VI <sup>1)</sup>	166	168	170	153
KV @40°C <sup>2)</sup>	47	46.88	46.9	46.21
KV@100°C <sup>2)</sup>	8.587	8.522	8.473	8.159
VI <sup>2)</sup>	162	161	159	151
KV@40°C <sup>3)</sup>	48.59	48.65		46.78
KV@100°C <sup>3)</sup>	8.891	8.938		8.272
VI <sup>3)</sup>	165	166		153

KV : kinematic viscosity

VI : viscosity index

1) fresh oil, 2) after sonic shear stability test, 3) after diesel injector shear stability test

활유의 전단안정성 평가에 주로 사용되고 있으며 디젤 인젝터 시험은 엔진유의 전단안정성 평가에 이용되고 있다. 두 시험법 모두 전질의 실기 시료와 비교하여 점도 변화율이 매우 낮게 나타났다. 초음파 전단안정성 시험법은 유압유용 점도지수 향상제의 전단안정성을 평가 하기 위한 시험법으로 전단안정성에 관한 첨가제별 상대 비교는 가능하나 건설중장비용 유압유의 실기를 모사하기 위한 시험조건으로는 시험조건의 가혹도가 떨어짐을 알 수 있다. 향후 트랜스미션 윤활유의 전단안정성 평가에 활용되는 KRL 전단안정성 시험방법을 도입하여 좀 더 실기에 가까운 전단안정성 평가가 이루어져야 할 것이다. VII-3경우 전단안정성은 매우 우수하나 증점 능력(Thickening power)이 다른 제품과 비교하여 매우 열등 하였다. 본 연구에서는 증점 능력과 전단안정성이 중간 정도인 VII-1을 선택하여 배합식을 설계 하였다. 이는 점도 지수를 낮게 가져갈 경우의 선택으로 완제품의 점도 지수를 높게 유지하고자 할 경우에는 VII-3 또는 이보다 우수한 점도 지수향상제를 선택하여야 한다.

표 4는 Fluid-A와 일본에서 현재 장수명 유압유로 사용되고 있는 시료 2종, VII-1을 사용하고 점도지수

**Table 4. Viscosity of hydraulic fluid with different formulation**

	Fluid-A	Fluid-C	Fluid-JP-1	Fluid-JP-2
Specific gravity, 15°C/4°C	0.8403	0.8411	0.8603	0.8746
KV @ 40°C, cSt	46.82	46.89	49.45	44.59
KV @ 100°C, cSt	8.64	7.93	7.75	6.78
VI	165	140	123	106
Abs. Vis <sup>1)</sup> . @-15°C	1135	1316	1706	1921
Abs. Vis. @-20°C	1960	2277	3225	3871
Abs. Vis. @-25°C	3328	3898	6432	8282
Abs. Vis. @-30°C	5962	7169	14244	19223
Viscometrics after sonic shear stability test				
30 min viscosity loss @40°C	2.5%	1.2%	0.4%	0.5%
viscosity index	162	138	122	105
60 min viscosity loss @40°C	4.4%	1.7%	0.4%	0.5%
viscosity index	154	137	122	105

1) Apparent viscosity by Cold Cranking Simulator, cP

를 140으로 변경하고 첨가제를 시스템을 VHVI기유에 적합하게 변경한 Fluid-C의 점도 특성을 나타내었다. Fluid-C의 경우 성능첨가제가 Fluid-A와 다르나 성능 첨가제가 점도 특성에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 판단된다. Fluid-C의 경우 점도지수가 140이고 VHVI기유를 적용하였기 때문에 전단안정성 모사시험에서 점도 감소율이 Fluid-A와 비교하여 50% 감소하였다.

유압시스템에서는 기동 가능 점도가 860cSt(750cP)으로 알려져 있는데[6], 점도지수 140제품은 점도지수 166제품과 비교하여 기동 가능 온도가 2°C 정도 높을 것으로 예상 된다. 단급 제품인 일본의 장수명 유압유는 점도지수향상제를 포함하지 않고 있어 전단안정성 시험에서 점도 감소는 없으나 저온에서의 점도 특성이 좋지 못하며, 온도에 따라 고점도 지수 제품과 비교하여 2배 이상의 높은 점도를 나타냈다. 제품에 적용될 저온 점도는 사용되는 온도 환경에 따라 결정되어야 하며 국내 겨울 기온을 고려 할 때 140 수준의 점도 지수를 나타내면 대부분의 경우 저온 시동성 문제를 발생시키지 않을 것으로 예상된다. 점도지수 140 제품으로 실기 평가를 실시하는 동안 2번의 동절기를 시동성 문제 발생 없이 지낼 수 있었다. 전단안정성 측면에서는 점도지수향상제의 사용량을 최소화하는 것이 바람직하므로 VHVI 기유의 사용이 요구된다. 또한 VHVI 기유를 사용할 경우 저온에서 발생하는 급격한 점도 증가 현상이 범용기유와 비교하여 더 낮은 온도에서 발생하기 때문에 범용 기유를 사용하는 경우보다

저온 성능이 우수하게 된다.

고성능화를 위한 다른 개선 필요 항목인 산화 안정성을 위하여는 제품에 사용되는 첨가제를 변경하였다. VHVI 기유는 범용기유와 비교하여 첨가제 응답 특성이 우수하여 적절한 첨가제 선정으로 우수한 성능을 나타낼 수 있다. 또한 VHVI기유는 범용기유와 비교하여 정제 공정 특성상 불순물이 적게 남아있어 기유로부터 기인하는 슬러지 생성량이 적다. 이는 장수명 제품 배합식 설계에 있어 VHVI기유를 적용하여야 하는 이유가 된다. 본 연구에서는 VHVI기유의 적용 및 적절한 첨가제 시스템 적용으로 700분 이상의 산화 안정도를 나타내는 제품을 설계하였다. 그러나 VHVI 기유를 사용하더라도 주 첨가제인 ZnDTP로부터 기인하는 슬러지 생성은 피할 수 없으므로 상대적 열산화안정성이 우수한 ZnDTP의 사용이 필요하다. 열안정성이 우수한 ZnDTP는 내마모성 저하를 수반할 수 있으므로 선택시 주의하여야 한다.

제품의 내마모성 설계 기준으로 4000시간 사용후에도 300 ppm 수준의 Zn이 잔존하도록 하였다. 과도한 ZnDTP 사용은 슬러지 생성을 초래 할 수 있으므로 신유에 있어서 Zn 함량을 500 ppm 수준으로 하였다. 적절한 금속계 청정제를 추가 투입하여 내마모성능을 더 오랫동안 유지할 수 있다는 보고[7]도 있으나 본 연구에서는 청정제의 적용을 검토하지 않았다.

점도 변화의 억제, 산화안정성 및 Zn 함량을 고려하여 고점도지수유압유를 제조 하였으며, 제조된 제품의 물성을 Table 1에 Fluid-C로 나타내었다. 본 연구에서

**Table 5. Sludge formation under CM thermal stability test condition**

	Fluid A	Fluid C	Fluid-JP-1	Fluid-JP-2
Fluid appearance (336 h, 135°C)	clear	clear	clear	heavy sediment
Fluid appearance (336 h, 135°C and 96 h 150°C)	slight sediments	clear	clear	Heavy sediments
Sludge formed after 432 h)	15.8	5.9	6.8	-
Cu appearance/ weight loss, mg	9/10.3	7/4.6	6/2.1	-

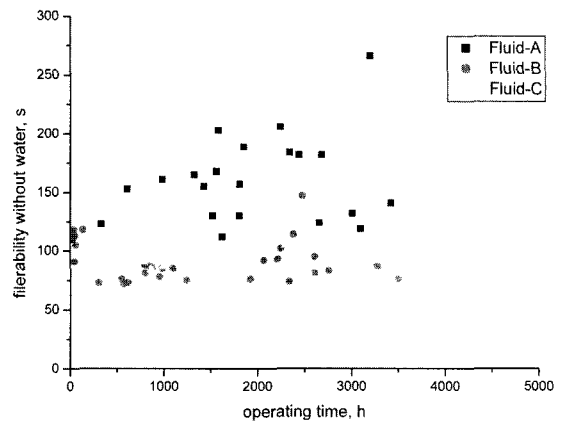
는 CM(Cincinnati Milacron) 열안정성 평가[8]를 통하여 제품의 열안정성을 평가하였으며, 열안정성 시험에서는 생성된 슬러지의 양을 비교하였다. 표준시험의 경우 온도 조건이 135°C에서 1주일간 시험으로, 표준시험에서는 거의 모든 시료가 10 mg/100 cc 이하의 값을 나타내었다. 시험조건을 가혹하게 하기 위하여 135°C에서 2주일간 시험한 후 시험온도를 150°C로 높혀 4일간 시험을 수행하였다.

Fluid-A에 사용된 성능첨가제는 범용기유, VHVI기유 모두에서 HF-0를 만족하는 제품이고, Fluid-C에 사용된 성능 첨가제는 VHVI 기유에 적합한 산화방지제 시스템을 보유한 첨가제이다. Fluid-A와 Fluid-C 및 일본의 장수명 유압유에 대한 열안정성 평가 결과를 표5에 나타내었다. Fluid-A에서 VHVI기유를 범용 기유로 대체할 경우에는 Fluid-JP-2와 비슷한 슬러지 생성 결과를 나타내었다. 18일간 시험한 경우 Fluid-C와 일본에서 판매되고 있는 무회계 유압유만이 10 mg/100 cc 이하의 값을 나타내었고 다른 시료들은 상대적으로 많은 슬러지를 생성하였다.

본 연구에서는 VHVI기유를 적용하고 적절한 성능첨가제를 사용하여 내마모성을 유지하면서도 무회계 유압유와 비슷한 슬러지 발생 억제 능력을 보유한 배합식 Fluid-C를 설계하였다.

#### 4. 실기 평가

Fluid-C를 이용하여 4000시간 이상 실기 평가를 실시하였으며 그 결과를 각각 Fig. 1~4에 Fluid-A, Fluid-B와 함께 나타내었다. Fluid-A, Fluid-B의 경우 굴삭기 1대에서 1회만 시료를 채취하였으나, Fluid-C의 경우 7대의 굴삭기에 대하여 운전시간에 따라 동일 굴삭기에서 2회에서 4회에 걸쳐 시료를 채취하였다. Fluid-C의 경우 실기시험결과 시간경과에 따라 점도 감소가 없으며 4000시간 사용후에도 300 min 이상의 RBOT 값을 나타내었다.



**Fig. 5. Filterability of used fluids.**

운활유의 열화에 의한 부작용중의 대표적인 것이 사용중 발생한 불용분에 의한 필터 막힘 현상 또는 필터 여과 성능의 저하이다. 사용유의 필터 여과 성능을 평가하기 위하여 Denison TP 02100법[9]에 의한 평가를 실시하였고 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 사용시간이 경과함에 따라 필터 여과 속도가 낮아 지나 규격인 300초보다 매우 낮은 값을 나타내고 있다.

Fluid-C의 실기평가 시간경과에 따른 마찰 특성 변화를 측정하기 위하여 불-온-디스크 왕복동시험기(SRV) 이용하여 마찰 마모 시험을 수행하였다. 시험 온도 조건은 40°C에서 120°C까지 20°C 간격으로 온도를 높이면서 각각의 온도조건에서 20분씩 수행하였다 Fig. 6은 동일한 굴삭기에서 채취한 시료 4종에 대하여 채취 시간별로 마찰 마모 시험을 수행한 결과이다. 신유와 비교하여 사용유의 마찰 계수가 낮고 4000시간이 경과한 시료에서도 급격한 마찰 계수의 증가는 관찰되지 않았다.

Fig. 7은 사용유로부터 측정된 철 마모분양을 기준으로 매 1000시간 마다 발생하는 철 마모분의 양을 계산한 값으로 사용 초기 높은 값을 나타내나 시간 경과에 따라 낮은 값을 일정하게 유지하고 있다. 이로부터 4000시간 경과에서도 효과적인 마모 방지 성능을

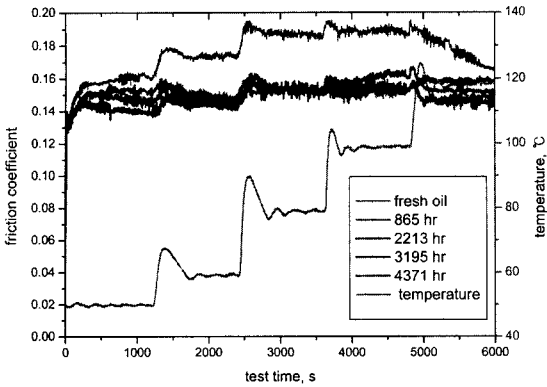


Fig. 6. Friction coefficient of used oil under varying temperature condition, test condition : 50 N, 1 mm stroke, 50 Hz frequency.

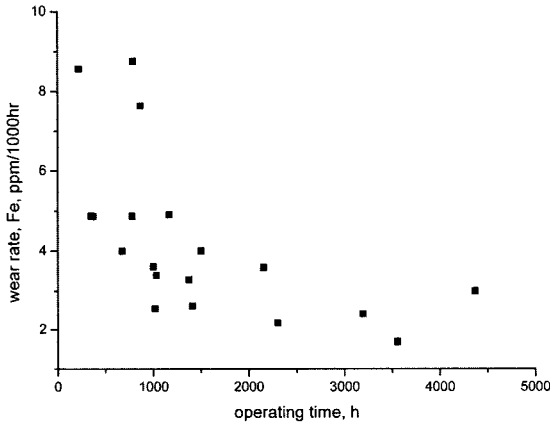


Fig. 7. Change of wear rate for Fluid-C during field test.

나타내고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 수행한 실기 평가를 통하여, VHVI기유를 적용한 Fluid-C의 경우 4000시간 사용할 수 있는 성능을 보유하고 있음을 확인 할 수 있었다.

### 5. 결 론

건설중장비용 유압유의 사용유 분석, 모사 시험 및 실기 평가를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 상업용으로 판매되고 있는 건설중장비용 유압유 제품의 사용유 분석 결과, 사용 초기에 점도 감소가 매우 크게 발생하였다.
- 2) 유압유의 수명 연장을 위하여는 산화안정성의 개선이 필요하다.

3) 사용유의 내마모성은 사용기간 동안 큰 변화 없이 일정한 수준을 유지하였다.

4) VHVI 기유를 적용하고 목표 점도 지수를 변경하여 사용중 점도 변화를 줄이고 산화안정성이 우수한 제품을 설계하였다.

5) 실기 평가를 통하여 신규 배합식이 4000시간 이상 사용이 가능함을 확인하였다.

본 연구에서는 아연계 유압유의 수명 연장에 관하여 평가를 진행하였다. 향후의 연구에서는 유압유 사용자를 고려한 성능에 관한 연구가 필요하다. 특히 유압유에 있어서도 에너지 절감형 제품의 개발은 환경 문제와 관련하여 제품개발의 중요 이슈로 될 것으로 예상된다. 이에 대한 대책으로는 저점도화, 고점도지수화 및 마찰조정제의 적용이 검토되어야 한다[10,11]. 저점도화의 문제는 펌프의 기계적 효율과 마모를 고려하여 결정되어야 하며 마찰 조정제의 경우 슬러지 생성의 원인이 될 수 있으므로 향후 이에 대한 연구가 필요하다.

### 참고 문헌

1. S. Ohkawa *et al.*, "Piston pump Failures In Various Type Hydraulic Fluids," ASTM STP 1339, G.J., 1999.
2. S. Ohkawa, "Needs of Hydraulic oil Specification for Construction Equipment," 5th F&L Asia Conf., 1999.
3. T. Kodama, "Hydraulic Oil for Construction Equipments in Japan," 5th F&L Asia Conf., 1999.
4. ASTM D 4378-84a.
5. Hiroyuki Kondo, "Recent Trend of Turbine Oil," Tribologist, Vol.35, No.9, 1990, pp.608-614.
6. Paul W. Michael, Steven N. Herzog, Thelma E. Marougy, [Fluid Viscosity Selection Criteria for Hydraulic Pumps and Motors," NFPA Technical Paper Series.
7. M. Okada *et al.*, "Development of an Extended-Life Hydraulic Fluid," J. of ASLE, Vol.43, pp.459-466, 1987.
8. ASTM D 2070.
9. Denison Procedure for Determining Filterability of Hydraulic Fluid TP-02100.
10. Hideki Kawate, "유압유작동유와 관련된 성에너지 대책," PETROTECH, 제26권, 7호, 2003, pp.33-41.
11. Minoru Nishida, "Polymethacrylate Index Improver-Fundamental Theory and Its Application for Drive-Line Fluid," Lubricants Symposium, Pusan, 2003.