



Dexron III ATF

(주)한국 페트로 캐나다
기술고문 공학박사 이 희 명

1. 서 론

자동차의 보급과 더불어 운전조작이 간단해야 된다는 요망이 점차로 높아져서 자동변속기 (Automatic Transmission)의 출현을 보게되었다. 이러한 환경하에서 자동변속기에도 새로운 기구가 점차 개발, 적용되어 이에 대응하여 자동변속기유(Automatic Transmission Fluids, ATF)도 크게 발전하였다.

더욱이 최근에는 자동변속기의 소형화에 의한 유량감소, 온도상승, 점도변화와 마찰특성의 변화를 적게 하도록 하는 등 ATF에 대한 성능을 개량하려는 경향이 강하게 일어나고 있다.

ATF의 규격도 자동변속기의 발전과 더불어 점차적으로 발전되면서 Dexron에서 부터 Dexron II E까지 발전되어 왔다. 이번에 또 Dexron III로 변경하게 되었다. 이 글에서 새로운 Dexron III에 대해서 어떤점이 달라졌는가를 자세히 살펴보고자 한다.

2. ATF의 규격

ATF의 규격은 세계적으로 General Motors사와 Ford Motors사의 규격으로 대표되고 있다. GM사는 Dexron, Ford사는 F-type로 부르며 윤활유회사가 생산하는 ATF도 양사의 승인을 얻도록 되어 있다. 최근에는 GM규격의 영향력이 절대적으로 되었다.

Dexron과 F-type의 큰 차이는 마찰 특성뿐이고 다른 특성은 비슷하다. Dexron의 특성은 동마찰계수가 정마찰계수보다 크기 때문에 원활한 승차감(Shift Feeling)을 얻을 수 있다. 반면에 F-type는 동마찰계수보다 정마찰계수가 크기 때

문에 변속시에 약간의 충격이 생긴다.

GM사는 1967년에 Dexron을 제정하였는데 산화안정성, 마찰계수의 열화등의 문제가 생겨서 이것들을 개량하여 1973년에 Dexron II를 제정하였다. 1991년에는 저온 유동성을 개량하고 산화안정성을 보강하여 Dexron II E를 제정하였다.

그러나 업계에서 저온유동성을 -40°C 에서 20,000cp 이하로 내려 달라는 요구가 높기 때문에 산화안정성을 개량하고 마찰특성의 안정성을 높여서 Dexron III를 새로 제정하게 되었다.

Ford사는 1967년에 M2C 33F(F-type)를 제정한 이래 M2C 138CJ, M2C166H를 제정하고 또 구주에서는 M2C33G를 별도 제정하는 등 수많은 규격을 낸 결과, 시장에서의 ATF의 공급에 큰 혼란을 주었다.

이 혼란을 수습하기 위해 서비스 전용 ATF로서 MERCON을 1987년에 제정하기에 이르렀다. MERCON은 기본적으로 M2C166H에 준거한 규격인데 Dexron II E의 THCT등도 규격에 포함되어 있으며 결과적으로 Dexron II E의 성능에 근사한 것으로 되어 있다.

MERCON에서는 산화안정성의 평가로서 ABOT(Aluminum Beaker Oxidation Test)를 도입하고 있다.

다음표는 세계 자동차 회사의 ATF 사용 현황을 정리하여 보았다. Dexron II나 Dexron II E를 지정하고 있는 회사가 가장 많고 Ford와 마찬가지로 Chrysler도 독자의 MS7176을 ATF로서 지정하고 있다.

일본에서는 GM, Ford와 같이 요구내용을 공포하고 있지 않고 각사가 독자적으로 ATF를 개

세계 자동차 회사의 ATF 사용현황

	North America	Europe	Japan	Australia
General Motors	DEXRON-ⅡE	DEXRON-ⅡE	DEXRON-ⅡE	DEXRON-ⅡE
Ford	MERCON	M2C138-CJ	MERCON	DEXRON-ⅡE
Toyota	DEXRON-Ⅱ	DEXRON-Ⅱ	Toyota Genuine ATF	DEXRON-Ⅱ
Nissan	DEXRON-Ⅱ	DEXRON-Ⅱ	Nissan Genuine ATF	DEXRON-Ⅱ
Chrysler	MS-7176	DEXRON-Ⅱ	-	-
Daimler-Benz	Sheet236.6/236.7	Sheet236.6/236.7	Sheet236.6/236.7	Sheet236.6/236.7
Borg-Waner	-	-	-	DEXRON-Ⅱ

발하고 순정유로 지정판매하고 있는 경우가 많다. 그러나 대부분 Dexron Ⅱ를 기준으로 삼고 있다.

Petro-Canada에서는 저온유동성이 좋은 Dexron ⅡE를 이미 개발하였고 GM사에 공장 충전 유로서 공급하고 있다. 또한 GM사와 공동으로 Dexron Ⅲ의 연구개발사업에 참여하여서 Dexron

Ⅲ를 이미 개발 완료하여 대량생산을 준비중이다.

GM사에서는 금년 7~8월에 Dexron Ⅲ 규격을 발표할 예정이며 Petro-Canada에서 발표와 더불어 시판에 들어갈 예정이다. 다음 표에 GM의 ATF개발 계획을 표시하였다.

GM ATF DEVELOPMENT PLAN

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	Fluid Improvement
DEXRON-Ⅱ	→	→					
DEXRON ⅡE				→			Fluidity Oxidation Stability
DEXRON-Ⅲ			Friction Stability Oxidation Stability Material Compatibility

GM사에서는 DEXRON ⅡE를 1994년까지 사용하고 1995년도 차에는 DEXRON Ⅲ로 교체할 예정이다.

3. 수소화 처리 윤활기유(Base Oil)

자동변속기의 사용도가 매년 늘어나고 ATF에 요구하는 성능도 다음과 같이 다양하게 되었다.

- (1) 저온유동성의 향상
- (2) 선단안정성의 향상
- (3) 산화안정성의 향상

Dexron II E To Dexron III 규격변동

Test	Dexron II E	Dexron III
Oxidation Test	TAN<4.5 IR<0.55 EOT-20C BF: 3000cP	TAN<3.25 IR<0.45 EOT-20C BF: 2000cP
Cycling Test	Operating Temp: 265°F TAN<2.5 IR<0.35	Operating Temp: 275°F TAN<2.0 IR<0.30
Band Clutch	evaluated from 20 to 100hrs stop time: 0.40-0.60sec mid-point torque: 145.220Nm	evaluated from 10 to 100hrs stop time: 0.35-0.55sec mid-point torque: 185-230Nm
Plate Clutch	evaluated from 20 to 100hrs stop time: 0.15-0.60sec	evaluated from 10 to 100hrs stop time: 0.50-0.60sec
Flash Point	160°C min	170°C min
Fire Point	175°C min	185°C min
Foam Performance		
Height	6mm max	5mm max
Collapse Time	15seconds	unchanged
Copper Strip	no blackening flaking	1b max

(Pour Point Depressants)를 가하면 더욱 손쉽게 -51°C까지 저하시킬 수 있다.

HT기유의 특성의 하나는 유동점강하제(Pour Point Depressants)와 같은 첨가제의 첨가효과가 뛰어나다는 점이다. 다른 기유에서는 이러한 형상이 잘 일어나지 않는다.

점도지수(Viscosity Index)

HT 공정에서는 수호화의 가혹도에 따라서 점도지수(Viscosity Index)를 조절할 수 있고 불포화물이 완전히 포화되어 방향족이 거의 제거되기 때문에 일반적으로 높은 점도지수를 갖춘 기유(Base Oil)를 생산하고 있다. 낮은 온도에서 점도지수 향상제의 첨가효과가 뛰어나서 저온유동성이 SR기유 보다는 훨씬 우수하다.

저온에서 ATF의 유동성이 나쁘면 다판클러치를 누르고 있는 유압이 적어져서 클러치가 미끌어지고 결국에는 소착하게 된다. 이 때문에 Dexron III의 저온점도가 -40°C에서 20,000cp이하인 것을 요구하고 있다.

또한 고온에서도 ATF의 점도가 너무 낮으면 (7.0cSt가 적절), 윤활막(Film)이 파괴되고 금속면끼리 접촉하게 되어서 마모가 생기고 열이 발생하여 소착(scoring)하게 된다.

따라서 ATF는 고온에서도 적절한 점도를 유지하여야하므로 점도지수향상제(V.I. Improver)를 가해서 고온에서도 적절한 점도를 유지하도록 하고 있다. Dexron III의 점도지수는 210으로서 매우 높고 자동변속기의 모든 작동온도 범위내에서 적절한 윤활을 보장하고 있다.

내실시험(Elastomer Test)

자동변속기 내에는 니트릴 고무(Nitrile Rubber), 아크릴 레이트 고무(Acrylate Rubber) 등으로 되어 있는 각종 고무실(Rubber Seals)이 정착되어 있고 ATF는 이러한 고무실에 대하여 팽창이나 수축이 생기지 않는 성능이 필요하다.

HT기유는 방향족이 완전히 제거되었기 때문에 고무실에 대한 성능이 불량할 것 같이 생각되지만 첨가효과가 좋기 때문에 고무폐윤제(Seal

Swell Agent)를 SR기유 보다는 약 50% 더 많이 첨가하면 실(Seal)의 팽창이나 수축이 생기지 않고 Dexron III 규격을 충분히 만족시킬 수 있다.

기포특성(Foam Test)

자동변속기 내에는 고속으로 회전하는 부품이 많이 있어서 사용하는 ATF속에서 기포가 발생하기 쉽다. 이런 기포는 ATF의 윤활작용을 감소시키며 변속기내의 Hydraulic System은 기포가 많이 생기면 기포가 압축되기 때문에 작동을 원활히 하지 못하고 기포가 심할때에는 Clutch가 slip되어서 심한 열을 발생시키고 장동변속기를 Overhaul해야 할 경우가 생긴다.

Dexron III에서는 극성화합물(Polar Compounds)을 전혀 포함하지 않는 HT기유를 사용했기 때문에 사용중에 자동변속기 속에 기포가 발생해도 곧 소멸되어서 변속기에 아무런 지장을 주지 않는다.

산화안정성(Oxidation Test)

Dexron III의 산화안정성은 THOT(Turbo Hydro Oxidation Test) 방법을 사용해서 4L60 변속기를 300시간 작동시킨 후에 사용한 ATF의 성능을 분석 검사하였다. 산화안정성에 대한 규격은 Dexron II E 보다는 강화되어서 좀더 가혹하게 되었지만 시험결과는 점도의 증가를 전혀 관찰할 수 없었다. 이것은 Dexron III는 산화에 대하여 지극히 안정하다는 것을 의미하며 HT기유에 산화방지제(Anti-oxidant)를 가해서 산화방지작용을 강화한 결과이다.

THOT 시험과정에서 방출하는 공기를 분석한 결과 HT기유는 다량의 산소를 흡수하지만 Varnish나 Sludge가 다른 기유보다는 훨씬 적게 생성되었고 점도 증가도 전혀 없었다는 것을 알았다. 이것을 변속기를 분해해서 Front Gear Pump, Forward Clutch Piston & Drum 등과 같은 중요한 부품을 검사하여 확인하였다.

HT기유는 다른 기유보다는 독특한 산화기구(Oxidation Mechanism)를 소유하고 있고 다른 종류의 산화물이 생성된다.

변속기내구시험(Cycling Test)

변속기의 내구시험은 가혹하다고 이름난 THCT(Turbo Hydra-matic Cycling Test) 방법을 사용하여 시험하였다. Hydra-matic 4L60 자동변속기와 Chevrolet 5.7L 엔진을 사용해서 20,000 회전까지 시험하였다. 작동온도는 Dexron II E에서는 265°F이고 Dexron III에서는 10°F 상승시킨 275°F이다. 이 시험은 산화안정성과 마찰특성의 지구성을 시험하는 것이다.

산화안정성은 사용한 ATF를 분석하여 평가하였다. 먼저 THOT 경우와 마찬가지로 HT기유는 산화안정성이 뛰어나서 전산가(TAN)의 변동도 거의 없었고 저온유동성도 거의 변화가 없었다.

마찰특성의 지구성은 쉬프트 시간(Shift Time)을 측정하여 결정하였다. 그림2는 THCT의 Torque 곡선에서 쉬프트 시간을 측정하는 경우를 표시하고 있다. 1-2단 변속과 2-3단 변속을 사용하였고 3-4단 변속은 보고하도록 되어 있다.

Dexron II E와 Dexron III의 쉬프트 시간에는 변동이 없고 쉬프트 시간은 시험시간 또는 회전수에 따라서 변화하며 어떤점을 지나서는 급격히 증가한다. 이것은 다판 Clutch가 미끌어지고 있다는 것을 표시하고 최정적으로는 소손하게 된다.

이러한 결과가 생기는 원인은 마찰조정제(Friction Modifier)의 소모, ATF의 산화열화, Clutch판 표면의 변질등을 들 수 있고 산화안정성이 나쁜 ATF를 사용한다는 것은 쉬프트 성능면에서는 치명적인 결과를 가져온다.

마찰특성(Friction Characteristics)

ATF에서 가장 중요한 성능은 마찰특성이다. Dexron II까지는 HEFCAD(High Energy Friction Characteristics and Durability Test)를 사용하였으나 Dexron II E와 Dexron III에서는 Plate Clutch Friction Test와 Band Clutch Friction Test를 채택해서 마찰특성을 시험하였다. 이들 시험에는 SAE No.2 마찰시험기(Friction Test Machine)를 사용하여 클러치판(Clutch Plate)과 브레이크 밴드(Band)의 마찰특성을 시험하였다.

(4) 마찰특성의 향상

(2)과 (4)는 승차감(Shift Feeling)을 좋게하는 것이고 첨가제에 달려있다. 반면에 (1)과 (3)은 기유에 관계가 있는 특성들이다. 저온유동성과 산화안정성이 뛰어난 기유를 사용하여야 요구하는 성능을 만족시킬수 있다는 것을 의미한다.

Petro-Canada에서는 2단계 수소화처리법(Two Stage Hydro Treating Process)을 통해서 이러한 목적으로 사용할 수 있는 윤활기유(Base Oil)를 생산하고 있다. 다음에 2단계 수소화처리법을 고찰해 보자.

첫단계는 고온(390℃)과 고압(3,000psi)의 가혹한 조건하에서 특수촉매(Ni-W 합금)를 사용하여 수소(Hydrogen)를 첨가함으로써 원료유 중에서 윤활기유로서 부적합한 성분을 적합한 성분으로 만들거나 불순물을 제거함으로써 양질의 윤활기유를 얻을 수 있다.

다음에는 왁스성분(Wax)을 제거한 후에 첫단계보다 약간 완화된 조건(3000psi, 290℃)하에서 먼저보다 다른 촉매를 사용하여 수소를 첨가시킴으로써 방향족 및 불순물을 거의 완전하게 제거함으로써 무색, 무취의 고품질 기유를 생산할 수 있다. 여기에 사용한 수소화처리 장치를 그림-1에 표시하였다.

수소화처리법은 어떤 원유에서도 일정한 품질의 윤활기유를 제조할 수 있는 특징을 가지고 있다. 이 방법은 불순물을 거의 완벽하게 제거할 수 있고 점도지수가 높으며 저온유동성, 열 및 산화안정성이 뛰어난 순수한 고품질 윤활기유를 생산할 수 있다.

윤활기유(Base Oil)는 수소화처리파라핀계(Hydrotreated Paraffins, 이하 HT기유라함), 용제정제파라핀계(Solvent Refined Paraffins, 이하 SR기유라 부름), 그리고 나프텐계(Naphthenic)기유 등으로 대별하고 정제후에 각계 기유를 질량분석기로 분석하여 다음표에서 비교하여 보았다.

위 표에서 보는 것과 같이 HT기유에서는 Cycloparaffins 즉 나프텐 성분이 증가해서 Normal, Iso 그리고 Cycloparaffins의 혼합물이 되고, 구조

기 유 성 분

질량분석%wt	점도(40℃) : 32cSt		
	나프텐기유	SR기유	HT기유
Paraffins(Iso & Normal)	12.20	17.74	32.60
Cycloparaffins			
(1-2 Rings)	28.51	39.70	50.33
(3-6 Rings)	17.49	26.70	17.04
Aromatics			
(1-2 Rings)	24.86	13.09	0.03
(3-5 Rings)	6.20	1.28	NIL
Thiophenes	9.10	0.19	NIL
Polar Compounds	1.64	1.30	NIL
Sulfur(ppm)	134.00	500.00	NIL
Nitrogen(ppm)	1.60	30.00	1.00

는 합성유 PAO와 비슷한 분기도가 높고 밀집된 분자구조를 가지게 된다.

완전히 포화되기 때문에 유동점(Pour Point)이 낮아지고 비점(Boiling Point)이 높아져서 휘발성이 적은 기유가 된다. 또한 화학적으로나 열적으로 매우 안정된 구조를 가지게 된다.

4. 차세대 Dexron III ATF

최근에 North American Original Equipment Manufacturers(북미 OEM업자 협회)는 -40C에서 Brookfield 점도가 20,000cp 이하인 차세대 ATF의 필요성을 강력히 주장하였다. 따라서 Dexron III은 저온유동성에 중점을 두고 개발하였다.

그러나 Dexron II에서 이미 이 저온유동성에도달했고 Dexron III는 다른 특성에서 한계를 엄격히 하여 새로운 ATF를 개발하였다. 다음표에서 Dexron II와 Dexron III에서 어떤 차이가 나는가를 표시하였다.

유동점(Pour Point)

HT공정에서 탈납과정(dewaxing)을 거치게 되는데 유동점(Pour Point)은 탈납의 가혹도에 따라서 저하시킬수 있고 여기에다가 유동점강하게

Plate Clutch Friction Test

4L60 자동변속기에 사용되는 것과 똑같은 강판(Steel Plate)과 마찰판(Composite Plate)을 사용해서 이너서어(Inertia)가 있는 축에 마찰판을 고정시키고 강판을 양쪽에서 압력을 가하여 회전하면서 Torque 곡선을 그린다. 시험판이 파괴될 때까지 또는 100시간까지 반복한다. 이렇게 얻은 결과를 그림3과 4에 표시하였다. 이 시험에서는 Delta Torque가 -10이기 때문에 Midpoint Torque가 Lockup Torque보다는 큰 곡선을 그리게 된다.

Band Clutch Friction Test

4L60 자동변속기에 사용되는 3T40 Intermediate Band와 Clutch Drum을 Housing Assembly에 장착하여 회전하면서 SAE No.2 마찰시험기계를 사용하여 100시간까지 반복하여 측정한다. 결과는 그림3과 4에 있는 것과 비슷하다.

이 시험에서는 Delta Torque가 +32이기 때문에 Max Torque가 Midpoint Torque보다 높은 곡선을 그리게 된다.

실차시험(Vehicle Performance)

쉬프트 특성(Shift Characteristics)은 Bench Test에서만 결정하지 않고 실차시험을 통해서 확인하게 된다.

사용한 차량은 5.0L V-8엔진과 4L60 자동변속기가 장착되어 있는 Chevrolet Caprice 세단이었으며, 여러가지 조건하에서 주행하면서 자동변속기를 조작하여 1-2, 2-3 쉬프트시간(Shift Time)을 산출하여 그림2에 있는 쉬프트 시간과 비교하였다.

표1에 Dexron III의 성상을 GM, Ford 및 Allison의 인가번호와 더불어 표시하였다.

5. 결 론

1. North American Original Equipment Manufacturers에서 요구한대로 저온유동성을 -40°C에서 20,000cp 이하로 내릴 수 있었다.
2. HT기유의 산화안정성이 뛰어나고 첨가효과가 크기 때문에 Dexron III의 시험중에 점도의 변화, 전산가의 증가 및 Sludge와 Varnish의 생성등이 거의 없었다.
3. 가혹하기로 이름난 THCT방법을 통해서 쉬프트 시간을 측정하였고 마찰특성은 Plate Clutch Friction Test와 Band Clutch Friction Test를 통해서 시험하였다.
4. 실차시험을 통해서 쉬프트 특성(Shift Characteristics)을 확인하였고 Dexron III은 쾌적한 승차감을 주는 ATF임을 확인하였다.

참고문헌

1. K.Cashmore, M.Moyle and P.Sullivan, Hydro Treated Lube Oil Base Stocks, SAE Paper #82 1238(1982)
2. R.A.Bagnall and B.Swinney, Significant Considerations in Selecting Base Stocks for Automatic Transmission SAE Paper #82 1242(1982)
3. General Motors Dexron-III E Specification GM-6137M
4. General Motors Dexron-III Specification GM-6297M
5. 이강호, 자동차용 구동계윤활유의 동향기계와 윤활, 1991년 12월호
6. 윤활경제 편집부, ATF의 첨가제 윤활경제 1991년 9월호
7. Petro-Canada Tech bulletin, Automatic Transmission Fluid.

Ⅱ-1 DEXRON Ⅲ/MERCON AUTOMATIC TRANSMISSION FLUID

Qualification No: F 30102 E 25127 M920104 C4-15730991

Specification Re: (GM DEXRON-Ⅲ)(GM DEXRON-ⅡE)(FORD MERCON)(ALLISON C-4)

Characteristic	Method Reference	Specification	General Characteristics
Density, kg/L at 15°C	ASTM D5042/D1298		0.8645
Color		6.0-8.0	7.0
Flash point, C O C, °C	ASTM D92	180min	185
Fire point, C O C, °C	ASTM D92	185min	205
cSt at 40°C	ASTM D445	29-36	34.26
cSt at 100°C	ASTM D445	7.3-8.2	7.70
cP at -20°C	GM6137-M	1500max	986
cP at -30°C		5000max	3540
cP at -40°C		20,000max	16,900
Viscosity Index	ASTM D2270	170min	210
Pour point, °C	ASTM D97	-40max	-51
IR Spectrum	ASTM E158	Match standard	Report
Foaming characteristics, mm	ASTM D892		
Sequence 1		100/0max	10/0
Sequence 2		100/0max	20/0
Sequence 3		100/0max	0/0
Sequence 4		100/0max	0/0
HTHS cP at 150°C	ASTM D4682		2.07
KO Sheared Oil	ASTM D3945		
cSt at 100°C	ASTM D445		5.76
VI	ASTM D2270	159	
HTHS cP at 150°C	ASTM D4682		2.07
FZG Sheared Oil	CEC L-37-T-85		
cSt at 100°C	ASTM D445		5.75
VI	ASTM D2270	158	
HTHS cP at 150°C	ASTM D4682		1.95
FZG Load Stage A/10, 4/90	CEC L-07-A-71		10, 11
Four Ball, mm scar diam (40kg, 600RPM, 2h, 150°C)	ASTM D4172		0.39
Ramsbottom carbon residue, %	ASTM D524		0.229
Sulfated ash, %	ASTM D874	0.3max	0.08
Aluminum, ppm	PCM 438/517		<1
Boron, ppm	PCM 438/517	115-157	130
Bariu, ppm	PCM 438/517		<1
Ca, ppm	PCM 438/517	18-24	20

Characteristic	Method Reference	Specification	General Characteristics
Cu, ppm	PCM 438/517		<1
Fe, ppm	PCM 438/517		<1
Mg, ppm	PCM 438/517		<1
Na, ppm	PCM 438/517		7
P, ppm	PCM 438/517	250-330	279
S, ppm	PCM 100	3000max	440
Si, ppm	PCM 438/517		6
Zn, ppm	PCM 438/517		<1
Foam Test	Appendix A	0	1
95°C		5/15max	0
135°C			
THOT	Appendix E		
Sludge		Pass	Pass
Cooler Corrosion		Pass	Pass
Used Oil TAN inc		3.25max	2.02
cSt 100°C		5.6min	7.25
IR		0.45max	0.3
cP-23°C		2000max	1700
THCT	Appendix F		
Operation		Pass	Pass
Cooler Corrosion		Pass	Pass
Used Oil TAN inc		2.0max	0.48
IR		30max	0.12
cSt 100°C			5.55
Low Vis cSt 100°C		5.0min	5.55
cP-20°C		2000max	
1-2 Shift, sec		0.30-0.75	0.54
2-3 Shift, sec		0.30-0.75	0.39
PLATE FRICTION	Appendix C		
Midpoint Torque, Nm		150-180	159-174
Delta Torque, Nm		30max	-10
Engagement Time, sec		0.40-0.55	0.49 to 0.54
BAND FRICTION	Appendix D		
Midpoint Torque, Nm		185-230	185-197
Delts Torque, Nm		80max	32
Engagement Time, sec		0.35-0.55	0.44-0.46
Vehicle Performance		Eq.to Ref.	Eq. to Ref.
Test	Appendix G		

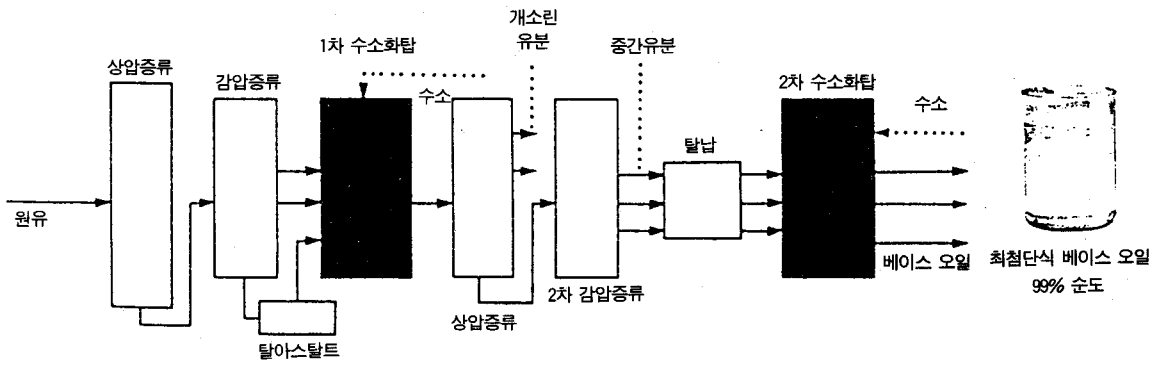


그림1-2. 단계 수소화 처리과정

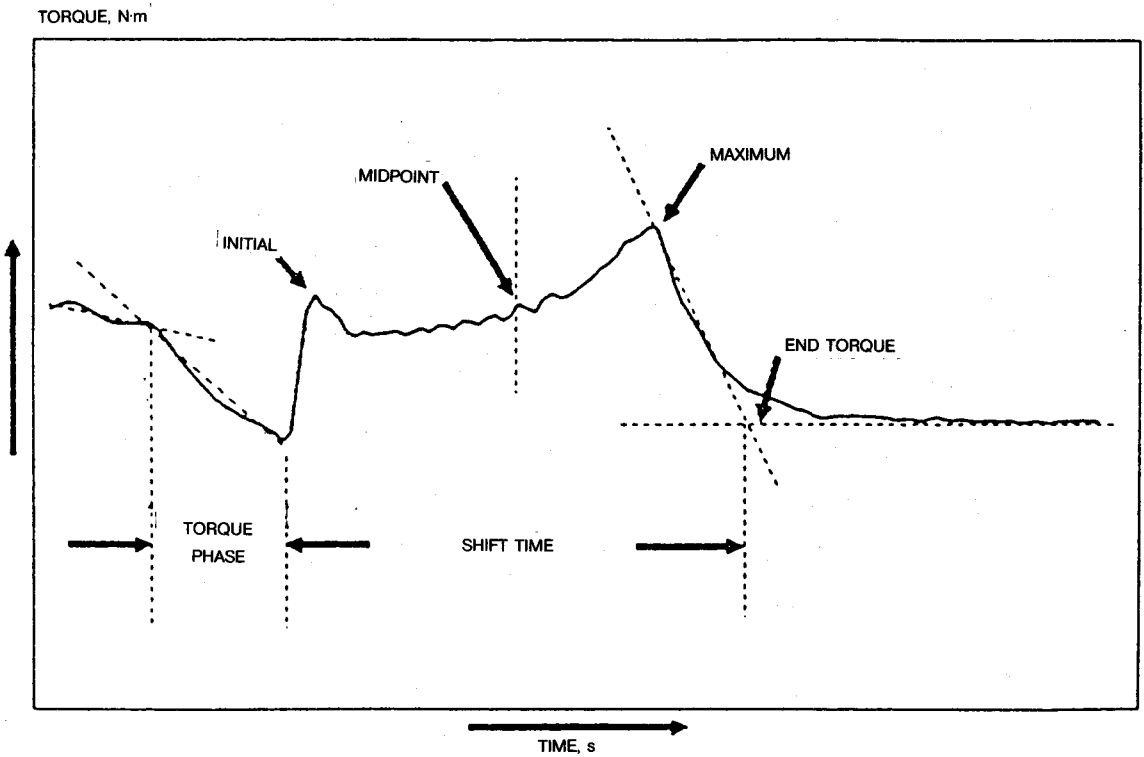


그림1-2. 변속기내구 시험(Cycling Test)의 쉬프트 시간 측정

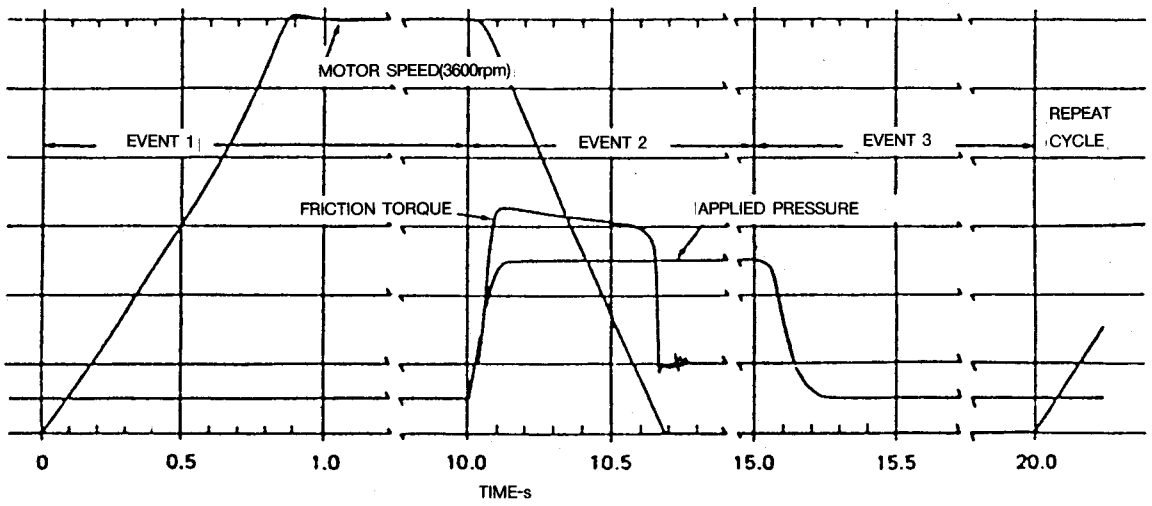


그림1-3. 마찰특성시험도

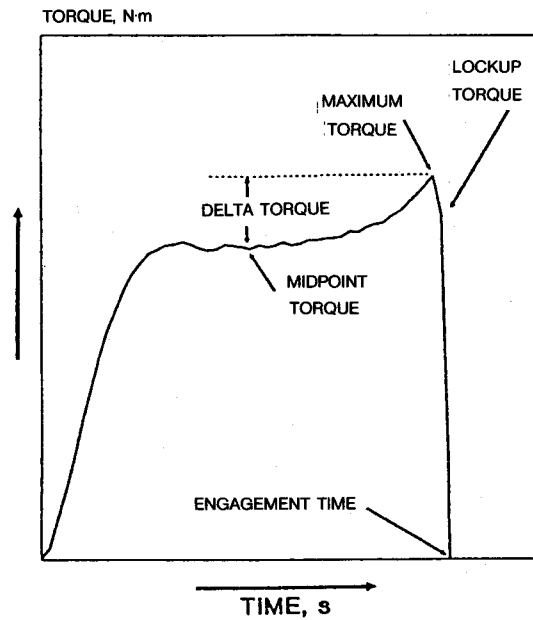


그림1-4. 마찰특성의 Torque곡선