

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-A.2008.32.7.561

## 휠로더 자동변속기의 변속품질 평가 방법에 관한 연구

이종찬<sup>†</sup> · 김관수\* · 임종형\* · 이효원\* · 권영민\* · 김형준\*\* · 이민희\*\*  
(2008년 2월 25일 접수, 2008년 5월 21일 수정, 2008년 5월 26일 심사완료)

### A Study on the Quantitative Assessment Method for Shift Quality of Automatic Transmission in a Wheel Loader

Jong Chan Lee, Kwan Soo Kim, Jong Hyung Yim, Hyo Won Lee, Young Min Kwon, Hyung Jun Kim and Min Hee Lee

**Key Words :** Shift Quality(변속품질), Frequency Weighting Functions(가중함수), Shift Time(변속시간), Turbine rpm Rate(터빈 회전수 변화량), VDV(Vibration Dose Value)

#### Abstract

The quality of the automatic transmission shift for a wheel loader has been generally evaluated by driver's perception. However the subjective evaluation of the drivers is not always directly related to the shift quality. It is necessary to set up the method for an objective assessment of the shift quality. In this paper, a quantitative assessment method has been developed for the shift quality of the automatic transmission in a wheel loader. The indices for the evaluation were selected through the various tests like the acceleration and the turbine rpm as well as the subjective evaluation of the driver, and were validated by the correlation between subjective and objective assessments using a psychophysical power law. Based on this method, the shift quality of a wheel loader has been evaluated quantitatively under various shift conditions.

#### 1. 서론

자동변속기는 수동 변속기에 비해 동력 효율이 낮은 단점이 있지만 부하의 변화, 전·후진의 반복 변속과 같은 다양한 운전 조건에 대해서 운전자가 편리하게 변속을 할 수 있기 때문에 운전 피로도가 적고 작업의 효율성이 높다. 이러한 이유로 자동변속기의 사용은 계속 증가되어 왔으며 이와 함께 자동변속기에 대한 연구 역시 발전되어 왔다. 최근에는 변속품질 향상<sup>(1)</sup>과 동력 효율 향상이라는 두 가지 주제를 중심으로 자동변속기에 대한 연구가 진행되고 있다. 특히 변속 품질을 향상 시키기 위해서는 일반적으로 변속기의 기본적인 특성평가

후, 실 차를 대상으로 운전자의 관능적 평가를 통한 변속기 튜닝 시험을 하게 된다. 그러나 이는 시험 상태나 시험 담당자의 주관적 판단에 따라 평가 결과가 달라질 수 있기 때문에 변속품질 평가에 필요한 정량적 데이터를 취득하여 변속품질을 객관적으로 판단할 수 있는 방법이 필요하다.

이를 위해 변속품질 평가수단의 하나로 진동에 대한 인간의 반응을 양적으로 표현하기 위한 객관적인 지표들을 사용하였다.<sup>(4,5)</sup> 그러나 단순한 진동의 크기만으로 변속품질을 평가하는 것은 시험적 평가 환경에 따른 오차가 존재할 수 있으므로, 본 논문에서는 운전자의 관능 평가와 실 차 시험에서 취득된 정량적 평가 데이터를 이용하여 추가적인 정량적 평가 요소들을 선정하였다.

최종적으로 선정된 변속품질 평가 요소들과 변속 조건에 따라 실 차에서 얻은 데이터를 기반으로 변속품질을 정량적으로 평가 할 수 있는 방법을 제시하였다.

<sup>†</sup> 현대중공업(주) 지능기계연구실

E-mail : ljcleee@hhi.co.kr

TEL : (031) 289-5287 FAX : (031) 289-5300

\* 현대중공업(주) 지능기계연구실

\*\* 현대중공업(주) 건설장비사업본부

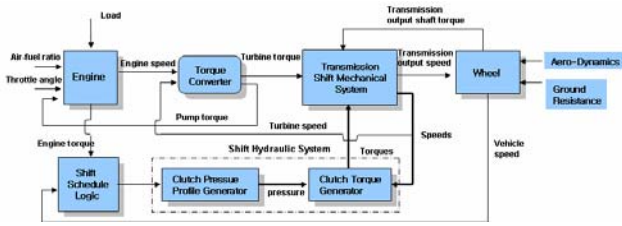


Fig. 1 Power flow and control of power train

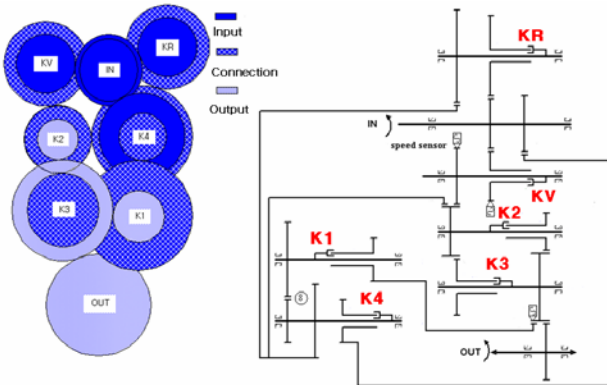


Fig. 2 Schematic configuration of automatic transmission in a wheel loader

2. 변속 메커니즘 및 평가 요소

2.1 휠로더 동력전달계

휠로더의 동력전달계는 Fig. 1 과 같이 엔진, 토크컨버터, 자동변속기 기어트레인으로 구성되어 있으며 유압시스템에 의해 변속을 한다.

Fig. 2 는 휠로더 자동변속기의 기어열 구조로 입력부, 연결부, 출력부 3 종류의 물림구조로 되어 있다. 이는 전진 4 속, 후진 3 속의 변속비를 가지며 8 개의 회전축과 6 개의 클러치에 의하여 결합과 해제가 제어되는 6 개의 기어회전체에 의하여 변속비가 변화된다. 따라서, 기어열에는 모두 14 개의 회전요소가 존재하며 상시 맞물려 회전하는 기어쌍이 11 개이므로 변속비가 결정되기 위해서는 2 개의 클러치가 결합되어야 한다.

모든 변속과정은 하나의 클러치를 해제하고 다른 하나의 클러치를 결합함으로써 변속이 진행되는 클러치 대 클러치 변속특성을 갖는다.

2.2 변속품질의 평가 요소 선정

유한한 몇 개의 변속 단을 가지고 있는 휠로더 자동변속기의 동력전달 및 제어 흐름은 Fig. 1 과 같으며 변속 시 전후 출력 축에 전달되는 토크의 불연속으로 인해 운전자는 차량의 급속한 가속도, 혹은 저크(jerk) 변화에 따른 충격을 느끼게 되는데

Table 1 The components of quantitative assessment for shift quality

평가항목	내용
가속도 peak-to-peak	차량 전·후 방향 가속도의 peak to peak
저크 peak-to-peak	차량 전·후 방향 가속도 변화량의 peak to peak
등가 진동량	가속도 센서의 주파수대별 인체 민감도 가중치 적용 $a_w(t) = m_f \cdot (a(t) * w(t))$
진동 실효치	인체등가감응 가속도 실효치 $a = (\frac{1}{T} \int_0^T (a_w(t))^2 dt)^{1/2}$
VDV	인체 진동 노출도를 나타내는 값 $VDV = (\frac{1}{T} \int_0^T (a_w(t))^4 dt)^{1/4}$
터빈속도변화율	터빈속도센서 신호의 시간미분 peak 비교
출력속도변화율	출력속도센서 신호의 시간미분 peak 비교
변속시간	변속충격과 trade-off 관계이므로 시험결과 비교 시 동일조건으로 제시되어야 함

이를 변속 충격이라고 정의한다.

변속충격은 토크영역에서의 클러치 해제(off-going)와 결합(on-coming)요소의 불평형 토크 전달 및 관성영역에서 발생하는 회전속도 변화에 의한 과도 토크의 급격한 변화로 운전자는 이를 변속충격으로 감지하게 된다.

또한, 변속 시 상하방향이나 측면방향보다는 전후·방향 가속도가 토크 변화와 유사한 특성을 나타낼 수 있는 것으로 생각할 수 있다.

이처럼 변속품질의 평가와 관련하여 측정 가능한 것들로써 터빈속도, 차량 출력속도, 차량 전·후 방향 가속도 등이 있다.

Table 1 은 변속성능 평가를 위해 활용할 수 있는 요소들을 정리한 것이다. 이는 특정 주파수 가중함수가 고려된 저주파 영역 전·후 방향의 가속도 피크치와 그 미분치인 가속도 변화(jerk)의 피크치, 그리고 이들을 몇 가지 함수로 결합하여 새롭게 유도, 계산된 VDV, 터빈 속도 변화의 최대 최소 피크치와 그 미분치인 터빈 속도 변화의 저크, 변속시간 등으로 정리 될 수 있다.<sup>(7)</sup>

2.3 주파수 가중 함수

ISO 2631-1<sup>(2)</sup>에서는 착석한 상태의 운전자에게 전달되는 충격 및 진동의 영향을 평가하기 위해서

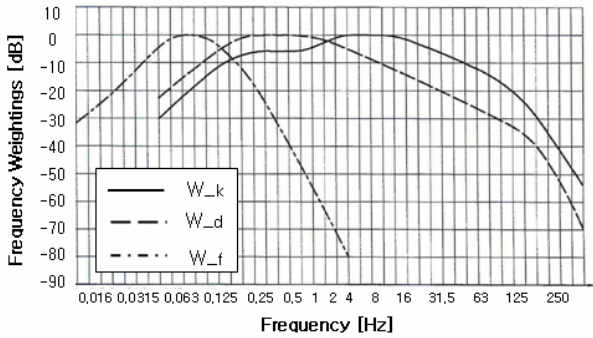


Fig. 3 Frequency weighting function in ISO 2631-1

시트와 등, 그리고 바닥에서 인체와 접촉하는 지점의 가속도를 각각 측정하도록 권고하고 있다.

이때 각 지점에서 측정된 진동에 반응하는 인체의 주파수 특성을 나타내는 가중 함수뿐만 아니라 진동에 노출되는 인체의 부위와 방향에 대한 축가중 값도 함께 규정하고 있다. 이를 바탕으로 변속시 충격을 객관적으로 표현하기 위해서 안락도에 대한 진동 효과의 예측 시 사용되는 주파수 가중 함수인  $W_d$  를 사용하였다.

이러한 주파수 가중함수를 가속도 신호에 적용하기 위해서는 먼저 주파수 가중함수를 수학적으로 정의할 필요가 있는데 이는 식 (1)과 같다.

$$H(S) = H_h(S) \cdot H_l(S) \cdot H_r(S) \cdot H_s(S) \quad (1)$$

이때, 각 전달 함수는 식 (2) ~ (5)와 같은 4 종류의 필터들의 곱으로 표현되며,  $H_h(S) \cdot H_l(S)$  는 대역제한 전달 함수를,  $H_r(S) \cdot H_s(S)$  는 실제 가중 전달 함수를 나타낸다.

$$H_h(S) = \frac{1}{1 + \sqrt{2}(2\pi f_1)/s + (2\pi f_1/s)^2} \quad (2)$$

$$H_l(S) = \frac{1}{1 + \sqrt{2}s/(2\pi f_2) + (s/(2\pi f_2))^2} \quad (3)$$

$$H_s(S) = \frac{1 + s/(Q_5 2\pi f_5) + (s/(2\pi f_5))^2 f_5^2}{1 + s/(Q_6 2\pi f_6) + (s/(2\pi f_6))^2 f_6^2} \quad (4)$$

$$H_r(S) = \frac{1 + s/(2\pi f_3)}{1 + s/(Q_4 2\pi f_4) + (s/(2\pi f_4))^2} \quad (5)$$

이 같은 매개 변수 중 주파수  $f_1 \dots f_6$  과 공진 값  $Q_4 \dots Q_6$  는 전체 주파수 가중 함수를 결정하기 위한 전달 함수의 매개변수들로서  $f_1(Hz) = 0.4$ ,  $f_2(Hz) = 100$ ,

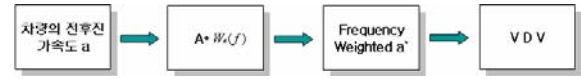


Fig. 4 Procedure of VDV calculation

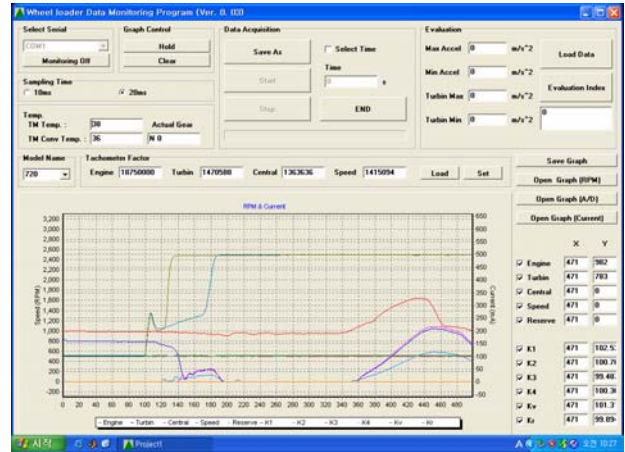


Fig. 5 Data acquisition and analysis S/W

$f_3(Hz) = 2$ ,  $f_4(Hz) = 2$ ,  $f_5(Hz) = \infty$ ,  $f_6(Hz) = \infty$ ,  $Q_4 = 0.63$ , 이며  $Q_5$ ,  $Q_6$  는 정의 되지 않는다. 이러한 조건에서 무한 값을 갖는 주파수  $f$  와  $Q$  에 대한 가중 함수  $W_d$  에 대해서  $H_s(S) = 1$  이다.

### 2.4 가속도 데이터의 정량화 및 VDV

가중함수가 적용된 가속도 신호들로부터 변속 충격의 정량적 평가를 위해 VDV(Vibration Dose Value) 지표<sup>(6,7)</sup>를 사용하였다. 이는 진동 피폭량으로써 인체 피폭 진동의 누적량을 고려하고 있으며, 진동 진폭  $a(i)$  와 노출 시간 T 의 관계를 나타내는 4 승의 법칙 즉, ' $a^4 \cdot T = \text{일정}$ ' 이라는 실험적 결과에 근거를 두고 있다. 이와 같은 방법으로 VDV 를 구하면 식 (6)과 같다.

$$VDV = \left( \frac{T_E}{N} \sum_{i=1}^N a^4(i) \right)^{1/4} \quad (6)$$

이는 특정 방향 성분 가속도의 VDV 로  $a(i)$  는 주파수 가중 함수가 적용된  $i$  번째 가속도 값의 진폭이며,  $N$  은 획득된 진동 신호의 총 개수이고  $T_E$  는 진동 측정 시간이다.

이를 바탕으로 주파수 가중함수가 적용된 가속도 신호로부터 VDV 를 구하기 위해 사용한 신호분석 절차와 계산방법은 Fig. 4 와 같다.



Fig. 6 Configuration of experimental apparatus

### 3. 시험장치

#### 3.1 하드웨어 및 데이터 처리용 소프트웨어

시험을 위해 사용된 데이터 취득 보드는 변속 클러치 제어 전류검출, 아날로그 전압 검출, rpm 측정과 시리얼 통신 채널을 지원하며 장비의 주요 신호들에 대한 모니터링이 가능하다. 또한, CAN 데이터를 취득할 수 있으며 시험에 필요한 특정 전압을 출력할 수 있는 구조로 되어 있다.

Fig. 5는 데이터 취득 처리용 GUI로 데이터 취득 및 저장은 물론이고, 실시간으로 각각의 데이터를 모니터링과 분석할 수 있도록 구성하였다.

#### 3.2 시험 환경

변속 시험은 장비를 운전하면서 데이터를 취득하므로 시험 도중에 발생할 수도 있는 안전 사고를 예방하고 효율적으로 변속품질 평가 시험데이터를 얻기 위하여 무선모뎀을 이용한 원격 데이터 취득장치를 구성하였다. Fig. 6은 데이터 취득 보드 및 가속도 센서 등의 시험 환경을 나타낸다.

시험에 사용된 가속도 센서는 ±1(G)의 측정 범위를 가지는 3축 센서로 Fig. 6에서 보는 바와 같이 캐빈 내부의 운전석 하단에 장착하여 횡로더 변속 시 장비의 충격을 측정한다.

### 4. 변속품질 평가 실 차 시험

#### 4.1 축 방향에 따른 가속도 데이터

Fig. 7은 변속 시 3축 방향에 따른 가속도 측정 결과로 전·후진 방향 가속도인 X축 방향 가속도 값이 상대적으로 큰 변화를 나타낸다. 따라서 변속품질을 평가하는 요소로 X축의 가속도 값을 적용하는 것이 타당하다.

Table 2 Subjective assessment values

	매우 좋음	좋음	보통	나쁨	매우 나쁨
등급	5	4	3	2	1

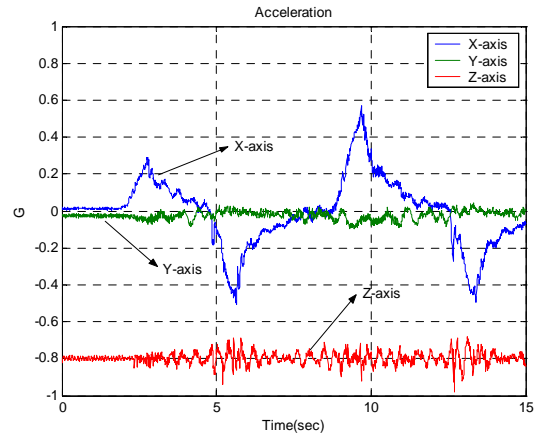


Fig. 7 Acceleration of axis

이를 바탕으로 X축 방향 가속도 데이터에 주파수 가중 함수  $w_d$ 를 적용하였는데 이는 앉은 자세에서의 진동 평가에 적용되는 것이다.

#### 4.2 변속품질 평가 요소들의 타당성 검토

가속도 데이터로 변속품질을 평가하는 것은 지면의 영향 등으로 인한 가속도 값의 시험적인 오차가 존재할 수 있으므로 이를 보완 할 수 있는 추가적인 정량적 평가요소들이 필요하다. 이를 위해 실 차에서 취득한 가속도 데이터와 함께 터빈, 클러치 제어 전류 등을 이용한 객관적 평가와 운전자가 평가한 주관적 평가와의 상관 관계를 분석하여 각각의 정량적 평가 요소들이 변속품질을 평가하는 요소로 의미를 가지는지를 검토하였다. 이 경우 사용된 것이 Stevens의 정신물리학적 급수 법칙<sup>(8)</sup>으로 식 (7)과 같다.

$$\psi = k\phi^\alpha \rightarrow \log \Psi = \alpha \log \phi + \log k \quad (7)$$

객관적 데이터를 이용하여 구한 평가의 크기를  $\phi$ 로 하고 주관적 평가자의 변속 품질 평가에 대한 반응의 크기를  $\psi$ 로 한 후 최소자승법(method of least squares)을 이용하여 그 자료에 가장 적합한 급수 방정식의 상수들인  $\log k$ 와  $\alpha$ 를 결정하고, 상관계수(correlation coefficient)  $R^2$ 를 구한다.

#### 4.2.1 주관적 평가

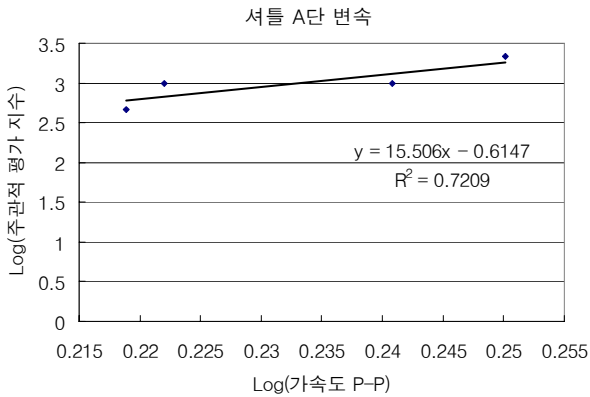
변속품질의 주관적 평가는 운전자의 감각을 통해

**Table 3** Linear fitting parameters of objective assessment methods for Fig. 8

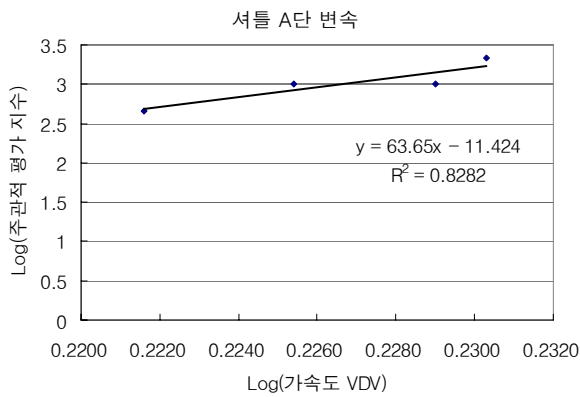
Objective Assessment Methods		Linear Regression Parameters		
시험 조건	평가데이터	$A(\alpha)$	$B(\log k)$	$R^2$
셔틀 A단 변속	가속도 P-P	15.506	-0.6147	0.7209

**Table 4** Linear fitting parameters of objective assessment methods for Fig. 9

Objective Assessment Methods		Linear Regression Parameters		
시험 조건	평가데이터	$A(\alpha)$	$B(\log k)$	$R^2$
셔틀 A단 변속	VDV	63.65	-11.424	0.8282



**Fig. 8** Correlation between peak of acceleration and objective assessment for shuttle A speed



**Fig. 9** Correlation between VDV and objective assessment for shuttle A speed

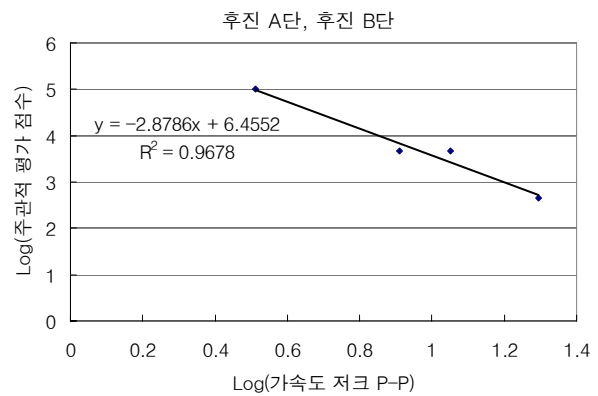
평가하는 방법으로 Table 2 와 같이 5 단계로 나누어 평가하였다. 이때 평가는 변속품질 평가 실 차 경험을 가지고 있는 당사 직원의 주관적인 느낌을 기준으로 절대적인 평가를 하도록 하였으며 변속품질이 좋을수록 5 점으로, 나쁠수록 1 점에 가깝게 평가하도록 하였다.

4.2.2 주관적 & 객관적 평가와의 상관 관계

Fig. 8 은 전·후진 반복을 하는 셔틀 변속의 특정 단 변속 시 가속도의 peak to peak 를 가로축 값으로 하고 주관평가자의 평가 지수를 세로축 값으로 하여 정리한 결과이다. 그리고 이 점들에 대해 선형회귀

**Table 5** Linear fitting parameters of objective assessment methods for Fig. 10

Objective Assessment Methods		Linear Regression Parameters		
시험 조건	평가데이터	$A(\alpha)$	$B(\log k)$	$R^2$
후진 A, B단 변속	저크 P-P	-2.878	6.4552	0.9678



**Fig. 10** Correlation between peak of jerk and objective assessment for reverse A, B speed

법을 적용하여 구한 직선의 기울기와 절편값 및 상관계수는 Table 3 과 같다.

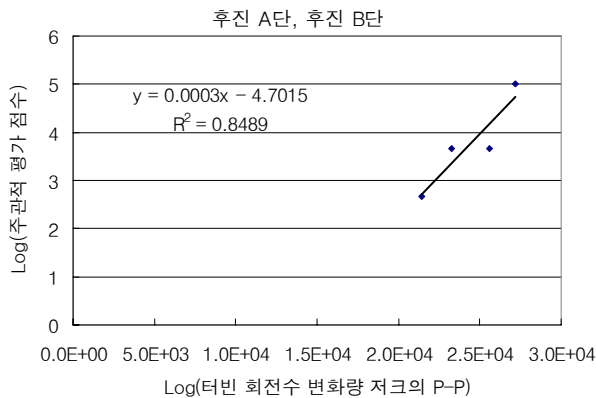
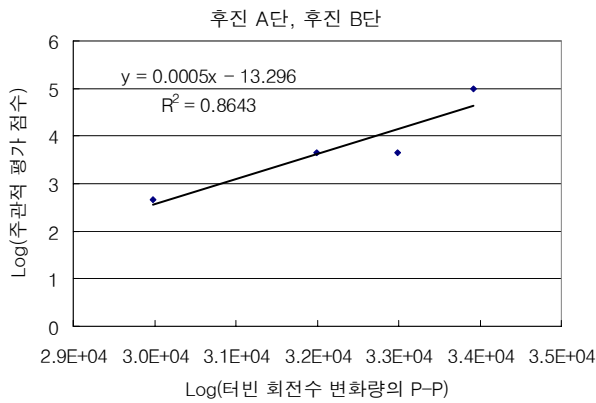
이처럼 구한 객관적 평가 지수와 주관적 평가 지수와의 선형관계를 보면 약 72%의 신뢰도를 가지는 것으로 나타났다.

Fig. 9 는 VDV 를 가로축 값으로 하고 주관평가자의 평가 지수를 세로축 값으로 하여 나타낸 것으로 이 점들에 대해 선형회귀법을 적용하여 구한 직선의 기울기와 절편 값 및 상관계수는 Table 4 와 같다. 이 경우 객관적 평가 지수와 주관적 평가 지수와의 선형관계를 보면 약 83%의 신뢰도를 가지는 것으로 나타났다.

Fig. 10 은 저크의 peak to peak 와 주관적 평가와의 상관 관계를 나타낸 것으로 이 경우 객관적 평가 지수와 주관적 평가 지수와의 선형관계를 보면 약 97%의 신뢰도를 가지며 Table 5 와 같다.

**Table 6** Linear fitting parameters of objective assessment methods for Fig. 11

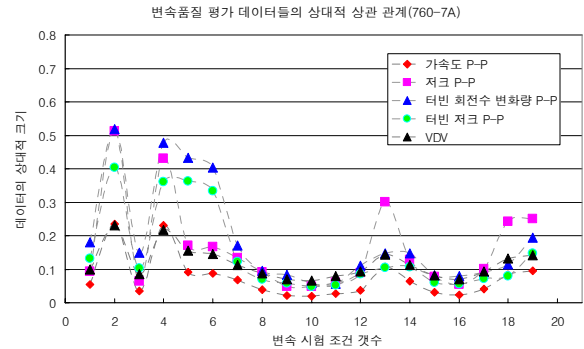
Objective Assessment Methods		Linear Regression Parameters		
시험 조건	평가데이터	$A(\alpha)$	$B(\log k)$	$R^2$
후진 A, B단 변속	터빈 회전수 변화량 P-P	0.0005	-13.296	0.8643
	터빈저크 P-P	0.0003	-4.7015	0.8489



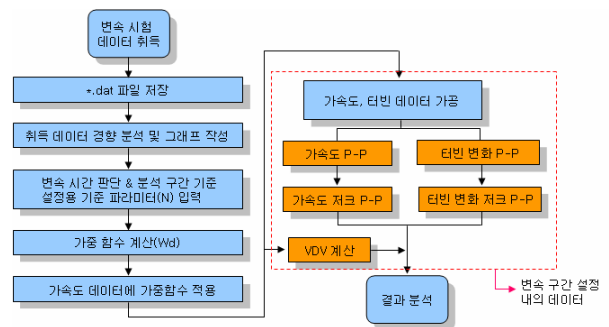
**Fig. 11** Correlation between turbine rpm rate, turbine jerk and objective assessment for reverse A, B speed

Fig. 11 은 터빈 회전수 변화량의 peak to peak, 터빈 회전수 저크의 peak to peak 와 주관적 평가와의 상관 관계를 나타낸 것으로 이 경우 객관적 평가 지수와 주관적 평가 지수와의 선형관계는 Table 6 과 같고, 각각 약 86%, 85%의 신뢰도를 가진다.

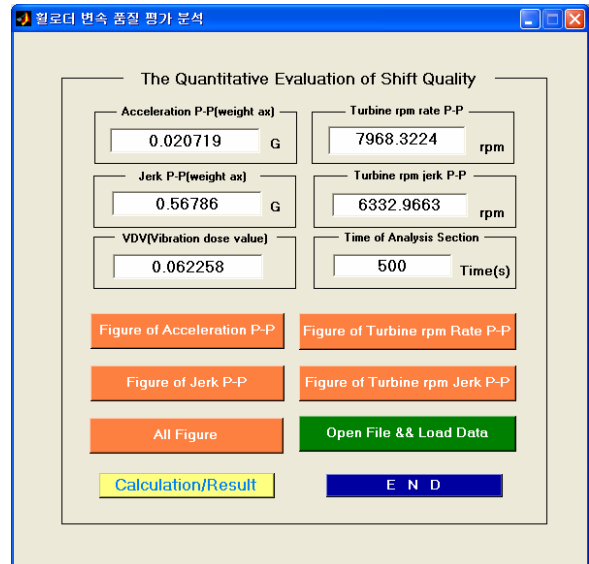
Fig. 12 는 이상의 결과를 바탕으로 변속품질 평가를 위한 정량적 요소들간의 상관 관계를 검토한 것으로 실차의 다양한 시험 조건에서 얻은 데이터를 이용한 것이다. 여기서 각 데이터들의 크기는 상대적인 크기이며, 가속도 P-P, 저크 P-P, 터빈 회전수 변화량의 P-P, 터빈 회전수 저크 P-P, VDV 의 5 가지 평가 요소들이 전체적으로 서로 상관성을 가지며 유사한 경향을 보임을 알 수 있다.



**Fig. 12** Correlation of evaluation data for shift quality



**Fig. 13** Procedure of data processing for evaluation of shift quality



**Fig. 14** GUI program for data analysis

이외에 유운도 변속품질 평가 시 고려될 수 있는 평가 요소이나 변속 시험 과정 중 유운은 일정 수준으로 유지시켜 시험 하였으며, 변속품질 평가를 위한 평가 요소에서는 제외하였다.

이상 검토 결과 가중 함수가 적용된 X 축 방향의 가속도, 가속도의 P-P, 저크 P-P, 터빈 회전수 변화량

**Table 7** A results of shift quality by TCU tuning for various speed

변속 모드	엔진rpm	시험 종류	가속도 P-P(G)	저크 P-P(G)	터빈rpm 변화량 P-P (10 <sup>4</sup> )	터빈 저크 P-P (10 <sup>4</sup> )	VDV
A1	Low	O	0.053	1.179	1.473	1.057	0.090
		N	0.065	2.132	2.050	1.693	0.196
	High	O	0.321	5.694	4.349	3.133	0.258
		N	0.261	6.700	3.700	2.341	0.256
B1	Low	O	0.046	1.168	1.897	1.428	0.099
		N	0.054	1.670	2.140	1.803	0.103
	High	O	0.131	2.866	3.746	2.936	0.186
		N	0.114	2.710	3.575	2.339	0.174
C1	Low	O	0.048	1.427	2.550	2.306	<u>0.085</u>
		N	0.041	1.133	1.707	1.631	0.088
	High	O	0.143	3.995	5.265	4.537	0.172
		N	0.109	2.770	4.367	3.186	0.162
D1	Low	O	<u>0.044</u>	<u>1.097</u>	1.652	1.717	0.079
		N	0.040	0.966	2.465	2.038	0.079
	High	O	0.093	2.549	4.812	3.773	0.146
		N	<u>0.097</u>	2.490	4.014	3.025	0.144
E1	Low	O	0.021	0.695	1.863	1.689	0.063
		N	0.019	0.606	1.796	1.420	<u>0.065</u>
	High	O	0.154	3.992	5.108	4.611	0.169
		N	0.107	3.188	4.546	2.964	0.155

P-P, 터빈 회전수 저크 P-P, VDV 를 정량적 변속품질 평가의 요소들로 활용할 수 있고 변속시간과 유운을 보조 데이터로 이용할 수 있다.

4.3 변속품질 평가 및 분석

4.3.1 시험 데이터 분석용 GUI 프로그램

변속품질 평가에 사용되는 데이터들은 자체 개발한 소프트웨어를 사용하여 수치적으로 가공하고, 그 결과를 바탕으로 변속품질을 판단, 평가를 하게 된다.

Fig. 13 은 변속 시험 데이터 취득에서부터 데이터를 수치적으로 가공, 계산하여 분석 한 결과를 나타내는 데이터 처리 과정을 나타내며 Fig. 14 는 변속 구간을 설정하고 데이터를 분석, 처리를 할 수 있도록 제작한 변속품질 평가 데이터 분석용 프로그램이다.

4.3.2 실 차 시험 조건 별 변속품질 평가

변속 품질을 평가하기 위한 시험 조건은 특정 단 변속 출발 변속품질 평가 시험, 일반 주행 변속품질 평가 시험, 전-후진 셔틀 변속품질 평가 시험, 자동 주행 변속품질 평가 시험으로 정리되며 각각 Low rpm, High rpm 으로 분류된다. 이 경우, Low rpm 은 장비 Idle rpm 으로 약 800 rpm, High rpm 은 장비최대 rpm 으로 약 2200 rpm 이다.

변속품질 평가를 위한 실 차 시험은 포장 도로에서 실시 하였으며, 시험에 앞서 충분히 예비운전을 하여 각 변속 단에서 변속이 정상적으로

**Table 8** A results of shift quality by TCU tuning for shuttle A speed

엔진rpm/변속 모드	시험 종류	가속도 P-P (G)	저크 P-P(G)	터빈rpm 변화량 P-P (10 <sup>4</sup> )	터빈 저크 P-P (10 <sup>4</sup> )	VDV	주관적 평가	변속 시간
Low/R→F	O	0.058	1.081	1.413	1.049	0.102	3	1.0
	N	0.048	0.923	1.270	0.918	0.094	5	1.4
Low/F→R	O	0.075	1.909	1.934	1.446	0.128	2.66	1.2
	N	0.051	1.101	1.338	0.924	0.101	4.66	1.55
High/R→F	O	0.270	4.493	3.782	3.004	0.231	2.66	1.08
	N	0.218	4.025	3.538	2.668	0.216	4.66	1.18
High/F→R	O	0.283	4.152	3.763	3.237	0.235	2	1.12
	N	0.231	3.789	3.548	2.703	0.221	4.33	1.3

**Table 9** A results of shift quality by TCU tuning for shuttle B speed

엔진rpm/변속 모드	시험 종류	가속도 P-P (G)	저크 P-P(G)	터빈rpm 변화량 P-P (10 <sup>4</sup> )	터빈 저크 P-P (10 <sup>4</sup> )	VDV	주관적 평가	변속 시간
Low/R→F	O	0.049	1.009	1.504	0.944	0.104	3	0.9
	N	0.056	1.063	1.844	1.233	0.105	4	1.45
Low/F→R	O	0.061	1.213	1.491	0.998	0.108	2	0.82
	N	0.044	0.750	1.445	0.896	0.095	4	1.1
High/R→F	O	0.218	3.862	4.387	2.844	0.221	3.33	1.2
	N	0.240	4.489	4.528	3.655	0.229	3	1.3
High/F→R	O	0.250	4.303	4.628	3.110	0.230	2.66	1.2
	N	0.222	3.789	3.566	3.054	0.225	3	1.3

작동되고 있는 것을 확인한 후 시험을 하였다.

Table 7~9 은 변속품질의 비교 평가를 위해 휠로더 TCU 의 튜닝 전-후에 따른 분석 결과를 비교한 것으로 'N' 은 튜닝이 완료된 TCU 를 장착하여 시험한 경우이고 'O' 는 튜닝이 제대로 되지 않은 TCU 를 장착하여 시험한 결과이다.

① 시험 1: 특정 단 변속 출발

시험 결과(Table 7)를 보면 전체적으로 튜닝이 잘 된 TUC 를 장착한 시험 결과의 가속도 P-P, 저크의 P-P, 터빈 회전수 변화량 P-P, 터빈 회전수 저크 P-P, VDV 의 크기는 그렇지 않은 경우의 시험 결과 보다 수치적으로 작게 나타나며, 각각의 객관적 평가 항목들은 서로 유사한 경향을 나타낸다. 하지만 일부 시험 결과에서는 새로 튜닝 된 경우의 객관적 데이터 크기가 더 크게 나오는 결과를 볼 수 있는데 이는 이전 보다 튜닝이 부적절하게 된 결과라고 할 수 있다.

일부 시험 데이터(밀줄 표시)를 보면 전체적인 경향과 다른 경향을 나타내는 경우가 있는데 이는 모두 가속도 데이터를 이용한 결과로 차량 속도가 증가함에 따른 외란과 차체 진동이 포함되기 때문에 발생하는 시험적 오차로 판단된다. 하지만, 터빈 데이터는 차량의 진동과 관계가 없고 순수한

동력전달의 변화를 나타내기 때문에 비교적 다양한 시험 조건에 대해 유사한 결과를 나타낸다.

여기서, A1, B1, C1, D1, E1 출발은 휠로더의 특정 단 변속 후 전진 또는 후진 출발을 나타낸다.

## ② 시험 2: 셔틀 주행

시험 2 는 변속 시간과 주관적 평가 점수를 추가적으로 포함시킨 것으로 정량적 평가의 타당성을 검토하기 위함이다.

Table 8, 9 는 셔틀 변속 주행의 경우 변속품질 평가 결과로 셔틀 A 단 Low 와 High rpm, 셔틀 B 단 Low rpm 전진에서 후진 변속, 셔틀 B 단 High rpm 변속을 보면 정량적 평가 요소와 주관적 평가간의 경향이 일치한다.

하지만 셔틀 B 단 Low rpm 후진에서 전진 변속을 보면 정량적 평가 데이터와 주관적 평가간의 경향이 다르게 나타났는데 이는 주관적 평가의 오류라고 판단되며, 정량적 평가 데이터들을 보면 튜닝 후가 오히려 더 안 좋아진 것으로 평가된다. 그리고 셔틀 B 단 High rpm 후진에서 전진의 경우도 마찬가지로 튜닝 후가 오히려 튜닝전의 결과보다 변속 시 충격이 더 큰 것으로 나타났고 그 결과 주관적 평가도 좋지 않게 나타났다.

여기서, R→F 은 후진 출발 후 전진 변속을 한 것을 나타내며, F→R 은 전진 출발 후 후진 변속을 한 것이다.

## 5. 결 론

휠로더 자동변속기의 변속품질을 정량적으로 평가하기 위하여 주파수 가중 함수가 적용된 X 축 방향 가속도의 peak to peak 및 저크의 peak to peak, 터빈 회전수 변화량의 peak to peak 및 터빈 회전수 저크의 peak to peak, VDV 의 5 가지 변속품질 평가 데이터 항목을 선정하였다. 그리고 정신물리학적 법칙을 이용하여 주관적 평가와 실 차 데이터인 정량적

평가와의 상관성 검토를 통한 변속품질 평가 요소들의 선정 타당성과 각 평가 요소들 간의 상호 연관성을 확인하였다.

이를 바탕으로 실 차에서 취득된 데이터를 이용하여 튜닝 된 휠로더 자동변속기의 변속품질을 정량적으로 평가하고, 그 평가 방법을 제시하였다.

향후에는 다양한 운전자의 주관적 평가는 물론 반복 시험을 통해 얻어진 측정 데이터를 기반으로 최적의 변속시점을 고려한 변속품질의 정량적 평가 연구가 수행되어야 한다고 사료된다.

## 참고문헌

- (1) Jung, B.H., 2005, "Analysis of Shift Quality of a Power Shift Transmission Using Driving Axle Torque," Seoul National University.
- (2) Kim, M. S., Kim, Y. T., Moon, W. K., Ahn, S. J., Yoo, W. S., 2006, "Correlation Between Subjective and Objective Assessments of Whole-body vibration in a Passenger Car" The KSME Fall Annual Meeting, pp.849~854.
- (3) Kim, K. S., Lee, J. C., 2006, "Quantitative Evaluation Technology of Shift Quality for Wheel Loader Automatic Transmission," HEMRI-06-AB-077 Technical Report.
- (4) International Organization for Standardization, ISO 2631-1, 1997, Mechanical Vibration and Shock Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration.
- (5) British Standards BS 6841, 1987, Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock.
- (6) Ken Horste, 1995, "Objective Measurement of Automatic Transmission Shift Feel Using Vibration Dose Value," SAE Paper Number 951373.
- (7) Schwab, Leo F., 1994, "Development of a Shift Quality Metric for an Automatic Transmission," SAE Paper Number 941009.
- (8) Stevens, S. S., 1951, Handbook of Experimental Psychology, Wiley, New York.