

수동 변속기용 동기기구의 마찰력과 마찰재의 영향 분석

조용이*, 유광석⁺, 윤종현⁺⁺

(논문접수일 2005. 5. 20, 심사완료일 2006. 1. 4)

An Analysis on the Affects of Friction Material and Force of Manual Transmission Synchronizer Ring

Yong Ee Cho*, Kwang suk You⁺, Jung hyun Yoon⁺⁺

Abstract

A driver's feelings of transmission serve as a basis to judge not only the transmission but also the entire automobile that he or she drives. The importance of transmission feelings is increasing daily because of driver's desire for increased torque and other improved functions. In order to accommodate such desire of drivers, new friction materials have been developed. The study in this report compared the affects of such materials and the force for transmission theoretically and empirically. By doing so, the study attempted to establish basic references for computation of capacity and other factors to be determined at the time of design of synchronizer system.

Key Words : Shift feeling(변속감), New friction materials(신 마찰재), Computation of capacity for synchronizer(싱크로나이저 용량 계산), Design of synchronizer system(싱크로나이저 설계)

1. 서론

변속감은 변속기를 평가하고 판단하는 기준 뿐만 아니라 자동차 전체를 평가하는 주 영향 요소이다. 변속기 내부에서 단 변속의 역할을 하며 변속감을 결정하는 주요 기능 부품은 동기장치 링이다. 운전자는 더욱 좋은 변속감 즉 가볍고 빨리 부드럽게 변속되기를 원하며, 이에 대한 요구 조건을 만

족시켜 주는 부품은 수동 변속기의 동기장치이다. 현재까지 주로 고력 황동 제품이 사용되어 왔고, 최근에 페이퍼^(1,2) (Paper), 카본(Carbon) 등 신 마찰재가 개발되어 적용이 증가 추세에 있다.

본 연구에서는 수동 변속기의 핵심 기능을 발휘하는 동기장치 링(Synchronizer Ring)의 성능에 가장 큰 영향을 주는 요소인 작용력(Force)을 점차 증가시키면서 이로 인한 동기

* 씨와이뮤텍(주) 회장, 공학박사
+ 교신저자, 씨와이뮤텍(주) 연구소장, 차량 기술사 (yks633@hanmail.net)
주소: 440-310 수원시 장안구 이목동 338-1
++ 씨와이뮤텍(주) 선임 연구원

장치에 발생하는 콘 토오크(Cone Torque)와 마찰계수의 변동 상황을 이론적으로 예측하고, 실제 시험과 비교하여 예측과 일치하는 정도를 파악하고자 한다. 또한 해석과 시험의 일치를 증명함으로 수동변속기 동기장치 링(Synchronizer ring)을 설계 시 기초 자료⁽³⁾로 삼는데 도움을 주고자 한다. 또한, 마찰재를 변경할 때에도 동일한 결과를 얻을 수 있는지를 증명하여, 신 마찰재 적용을 위한 방향을 삼고자 한다.

이를 위해 다음과 같은 방향으로 검토 하였다.

- ① 검토 대상 두 종류의 견본 사양인 고력 황동재질과 고력 황동에 페이퍼를 부착한 동일 치수의 제품에 대한 작용력 증가별 마찰계수, 콘 토오크, 동기시간을 이론적으로 해석⁽³⁾한다.
- ② 상기 2 종류(각각 2개씩 견본 제작)의 견본을 제작한다. (견본은 현재 양산 적용되고 있는 동일한 동기장치와 내부에 신 마찰재인 페이퍼를 부착한 견본을 제작한다.)
- ③ 제작한 견본으로 단품 시험을 실시하여 비교 가능한 Data를 추출한다.
- ④ 이론 해석과 실제 시험 사이에 어떠한 상관관계가 있는지를 비교 평가, 분석한다.

2. 이론적 해석

동기장치 내면과 기어 콘(Gear Cone) 외면과의 마찰에 의한 제동력이 발생하여 콘 토오크가 발생하며 이 마찰력에 의한 토오크가 관성에 의해 회전하는 회전체(Sleeve & Gear Cone) 사이의 속도차를 줄여 상대속도를 “0”(Zero)으로 하여 동기를 가능케 한다. 이와 같은 토오크는 작용력이 가장 큰 변수로 작용하는데 이론적 해석⁽³⁾에서 작용력을 점차 증가시켜 그 때의 콘 토오크, 마찰계수, 동기시간 등을 해석하여 작용력이 동기작용에 미치는 영향에 대한 해석을 실시했다. 또한 현재 이론상으로 동기시간이나 용량을 평가하는 상용영역의 실효성 유무를 판단 하고자 했다.

2.1 콘 토오크(Tc) 계산

콘 토오크라 함은 운전자가 변속 시에 변속 레버를 통해 시프트 포오크에 변속력을 작용시켜 동기 장치에 힘이 전달될 때, 동기장치와 기어 콘 사이에 힘이 전달되어 발생하는 마찰력의 회전 분력으로 발생하는 토오크를 말한다. 두 종류 견본의 평균유효 반지름은 24.508mm인 동기 장치를 사용했으므로, 각각에 대하여 아래의 식 (1)에 의해 콘 토오크를 계산⁽³⁾하면 다음과 같다.

$$Tc=(F \cdot \mu \cdot Rc) / \sin \Phi \tag{1}$$

여기에서

- F : 변속력(kgf)
- μ : 마찰계수
- Rc : 평균유효 반지름(mm)
- Φ : 링경사각

* 콘 토오크(Tc) 계산 예
 $(20 \times 0.09 \times 0.024508) / \sin 7 = 0.361 \text{kgf} \cdot \text{m}$

- 위와 같은 방법으로 변속력을 점차 증가시켜 계산하면 다음의 Table 1과 같다.

Table 1 Results of synchronizing time by calculation

BRASS SYNC.RING			PAPER LINING SYNC.RING		
FORCE	Tc	정지시간	FORCE	Tc	정지시간
20	0.362	0.839	20	0.483	0.629
23	0.416	0.730	23	0.555	0.547
26	0.471	0.646	26	0.627	0.484
29	0.525	0.579	29	0.700	0.434
32	0.579	0.525	32	0.772	0.393
35	0.633	0.480	35	0.845	0.360
38	0.688	0.442	38	0.917	0.331
41	0.742	0.409	41	0.989	0.307
44	0.796	0.381	44	1.062	0.286
47	0.851	0.357	47	1.134	0.268
50	0.905	0.336	50	1.207	0.252
53	0.959	0.317	53	1.279	0.238
56	1.014	0.300	56	1.351	0.225
59	1.068	0.284	59	1.424	0.213
62	1.122	0.271	62	1.496	0.203
65	1.176	0.258	65	1.569	0.194
68	1.231	0.247	68	1.641	0.185
71	1.285	0.236	71	1.713	0.177
74	1.339	0.227	74	1.786	0.170
77	1.394	0.218	77	1.858	0.163
80	1.448	0.210	80	1.931	0.157
83	1.502	0.202	83	2.003	0.152
86	1.557	0.195	86	2.075	0.146
89	1.611	0.189	89	2.148	0.141
92	1.665	0.182	92	2.220	0.137
95	1.719	0.177	95	2.293	0.133
98	1.774	0.171	98	2.365	0.128

2.2 동기시간(dt) 계산⁽³⁾

동기 장치 링의 성능 혹은 그 용량은 얼마나 짧은 시간에 동기작용을 완료하느냐로 평가 할 수 있다. 점차 변속력을 증가시키며 변속력 대한 영향을 해석했다. 상기 식 (2)를 시간으로 환산 하면 아래와 같으며 이 시간은 상당 관성과 각 속도 변위 에너지를 소비시켜 각속도 차이를 "0"(Zero)으로 만드는데 소요되는 시간으로 이 시간은 곧 동기 장치 링의 성능 혹은 그 용량을 나타내는 인자가 된다.

$$T_c = (F \cdot \mu \cdot R_c) / \sin\Phi = I r \cdot \Delta\omega / t \quad (2)$$

$$\therefore t = (I r \cdot \Delta\omega) / T_c \quad (3)$$

시간을 산출할 수 있는 식 (3)에 의해 2 종류 견본의 동기 용량 즉 동기 성능을 계산하면 아래와 같다.

* 동계 재질 견본(Shift Force 20kgf)

$$\text{계산 예) } (0.0029 \times 104.71) / 0.361 = 0.841 \text{sec}$$

* 페이퍼 부착 견본 (Shift Force 20kgf)

$$\text{계산 예) } (0.0029 \times 104.71) / 0.483 = 0.629 \text{sec}$$

이것을 표로 정리하면 Table 1과 같고 Fig. 1, 2는 동계 재질 및 페이퍼 부착 견본의 콘 토오크를 이론적으로 계산하여 예시하였고 Fig. 1, 2에서 볼 수 있듯이 마찰재의 종류에 관계없이 콘 토오크는 변속력이 증가함에 따라 비례하여 선형으로 증가하며 동기시간은 60kgf 시점까지는 급격하게 줄어들고 그 이후 시점부터는 완만하게 동기시간이 줄어드는 것(반비례)을 볼 수 있다.

동계 재질 대비 신 마찰재 페이퍼 부착 동기 장치 링은 약 30% 정도 성능 우위를 나타내고 있다. 즉 콘 토오크는 높으며 동기 시간은 적어진 것을 볼 수 있다.

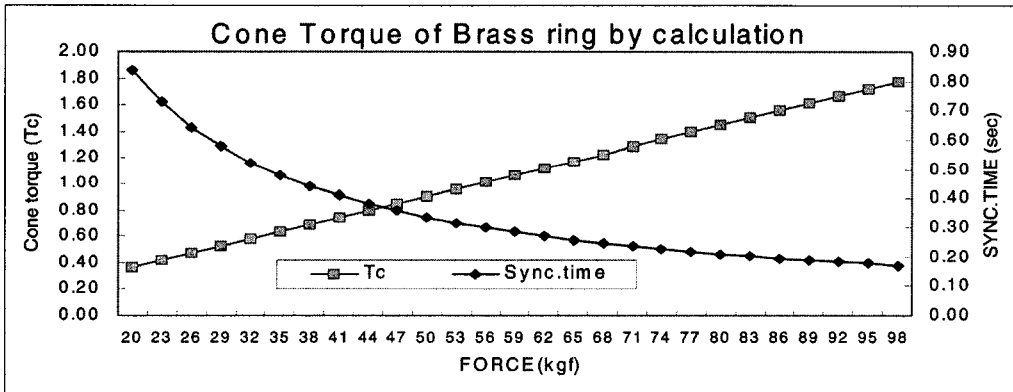


Fig. 1 Results of cone torque by calculation for brass ring

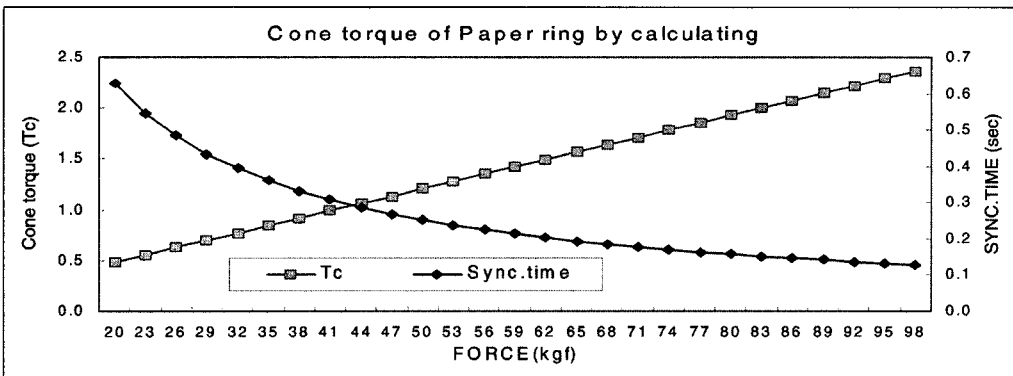


Fig. 2 Results of cone torque by calculation for the paper ring

3. 실험 방법 및 적용 시편

3.1 실험 방법

검토 사양은 두 종류로 현재 소형차량에 사용 중인 동기 장치 링(Synchronizer Ring) 및 맞물리는 치차로서 동일 사양의 제품을 번갈아 가며 실험을 실시하여 타 영향을 최소화 했다. 실험 방법 및 실험 모드는 자동차 메이커 마다 고유 모드를 사용하나 본 실험은 중요 인자에 대한 단순 비교 실험으로 실시했다.

3.2 적용 실험 견본 사양

< 기본 제원: 일반 모드, 비교 실험 견본 사양 >

- * Force = 20~98kgf
- * μ = 동계 0.09 페이퍼 0.12
- * CONE ANLGE = 7°
- * Ir(Reflected inertia) = 0.002kgf·m·s²
- * $\Delta\omega$ (각 가속도) = 104.71rad/sec
- * 나사사양 = PITCH : 0.6 렌드폭 : 0.1± 0.03
나사각도 : 40°
- * 평균 유효 반경 = 24.508mm (지름 49.016mm)

상기 기호 중 μ 는 동기 장치 링과 콘 내부의 마찰면과의 마찰계수이며, 콘 각은 동기장치 링과 콘의 접촉부위의 경사 각이며, Ir은 관성체의 회전 관성 모멘트이며, $\Delta\omega$ 는 동기 장치 링과 콘간의 상대 회전 속도를 의미한다.

3.3 적용 실험 장비

위와 같은 두 종류 견본에 대한 성능실험⁽⁴⁾을 실시하였다. 본 검증을 실시한 실험장비는 단체성능 내구 실험장비로 그 외관은 아래와 같고 변속기의 타 부품의 영향을 배제하면서 동기기구 관련 부품인 동기 장치 링과 기어 콘만 별도로 설치하여 변속 과정 중 일어나는 모든 변수 및 데이터를 검출하여 성능 및 내구를 분석 평가 가능한 실험 장비이다.

3.4 실험조건

- * 변속력 : 20~98kgf
- * 콘 회전수 : 1,000RPM
- * 윤활유/온도 : 75W80 / 80°C
- * 상대 재질 : SCM 440H 연삭 제품
- * 실험 사이클 : 100Cycle 길들이기 실험 후, 성능 확인 실험 실시하였다.

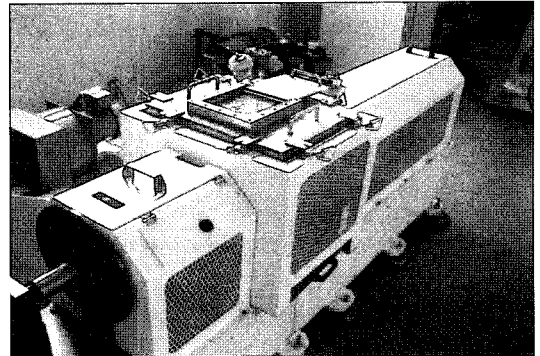


Fig. 3 단체 성능 내구 실험 장비

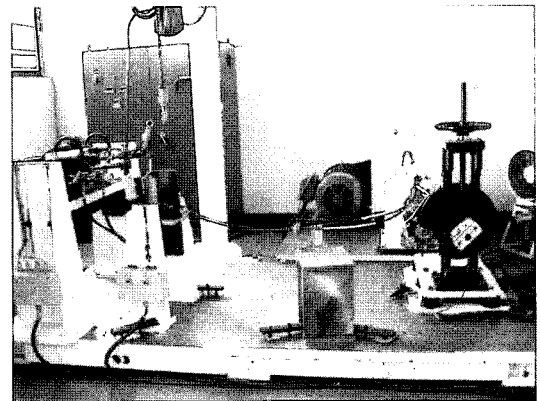


Fig. 4 Tester of synchronizer ring for performance and durability

4. 고찰

아래 Fig. 5 데이터는 상기 Fig. 3 실험장비 및 조건으로 실험하여 얻어진 결과이다.

4.1 콘 토크 분석

두 종류 마찰재의 콘 토크 실험 결과를 Fig. 5 결과로 비교하면 동계 재질 동기장치 링의 변속력 증가별 콘 토크 대비 페이퍼 부착 동기 링의 콘 토크 변화량은 상용 영역인 60kgf를 넘어서면서 차이를 확실히 나타내고 있으며 100kgf에서는 약 25%(2.0에서 2.5kg.m) 성능 우위를 보이고 있다. 이는 이론 해석상 차이 33%(1.809대비 2.41kg.m) 보다는 적은 차이를 보이고 있는 것이다.

동계 재질 동기 장치 링의 변속력 증가별 콘 토크의 변화

정도에 대한 이론과 실험 결과를 비교 분석한 Fig. 6을 보면 실험치 및 이론치 동일하게 증가함을 보인다. 또한 실험치는 20kgf일 때 0.4kgf·m부터 선형(비례)으로 증가하여 98kgf

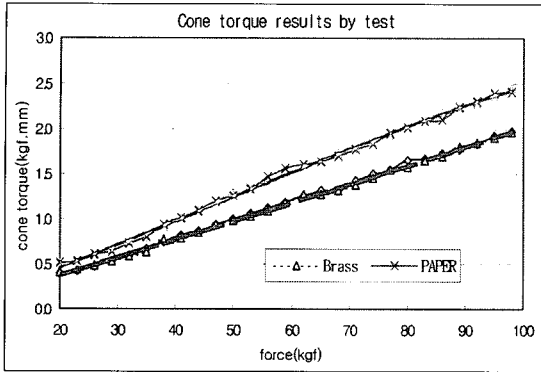


Fig. 5 Results of cone torque with respect to force by friction materials

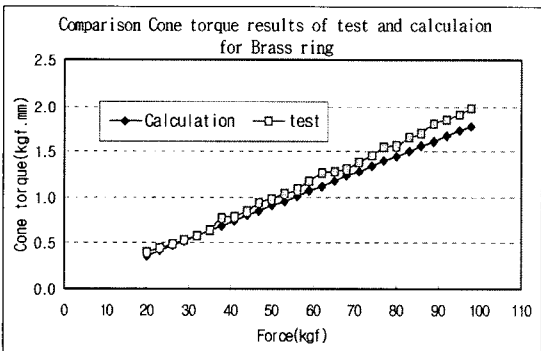


Fig. 6 Results of cone torque with respect to force by brass ring

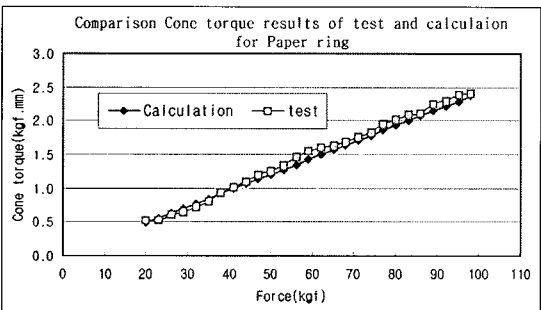


Fig. 7 Results of cone torque with respect to force by paper ring

일 때 1.97kgf·m까지 증가하는 추세를 보인다. 이는 상용 영역 즉 60kg·m이하에서는 실험치도 이론해석과 유사하나 상용 영역을 넘어서면서 차이를 나타내어 100kgf에서는 이론보다 실험결과가 약12% 성능 우위를 보이고 있다.

각각 두 차례 실험을 실시하였으나, 유사한 결과를 얻었으며 이의 영향은 나사산의 랜드 폭 및 사용 윤활유 영향으로 추정되며 차후 연구에서 추가 검증하기로 한다.

페이퍼 부착 동기장치 링의 변속력 증가별 콘 토오크의 변화추이에 대한 이론과 실험 결과를 Fig. 7에 보인다. 이를 분석하면 실험 결과는 20kgf 일 때 0.5kgf·m로 부터 동계 재질과 마찬가지로 선형으로 증가하여 98kgf일 때 2.5kgf·m까지 증가하는 추세를 보인다.

동계 재질 동기장치 링의 변속력 증가별 콘 토오크 증가 추이와 비교할 때 이론과 근접한 차이를 보이며 이는 변속력 증가에 영향을 많이 받지 않으며 안정적인임을 나타내고 있다.

4.2 마찰계수 분석

동계 재질의 마찰계수 변화추이⁽⁵⁾는 45kgf까지는 증가하며 45kgf에서 최대에 이르러 그 이상의 변속력에서는 마찰계수가 변화 없이 균일함을 Fig. 8에 보이고 있다.

또한 Fig. 8에서 페이퍼 부착 동기장치 링의 마찰계수가 55kgf까지 증가하고 최대에 이르러 그 이상의 변속력에서는 안정되며 균일한 마찰계수를 나타내는데, 동계 재질에 비해 높은 변속력(70kgf)에서 안정되며 마찰 계수값이 약 30%정도 (0.085에서 0.11)향상됨을 실험 결과를 통해 확인했다.

즉 동일 크기의 동기 장치일지라도 내부에 페이퍼 마찰재를 부착하는 것만으로 용량을 30%정도 증대 시킬 수 있음을 보여준다.

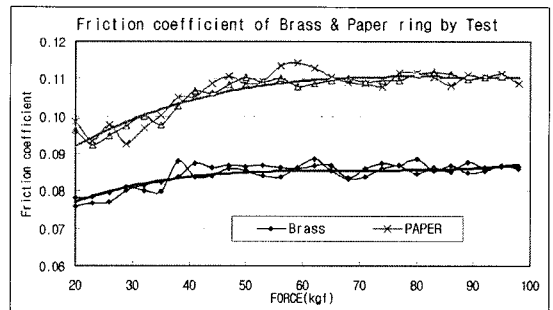


Fig. 8 Results of friction coefficient with respect to force by friction materials

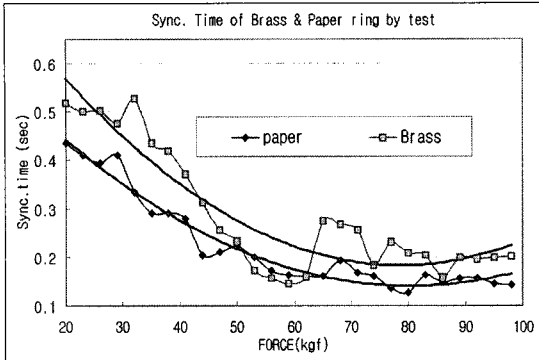


Fig. 9 Results of synchronizing time with respect to force by brass ring

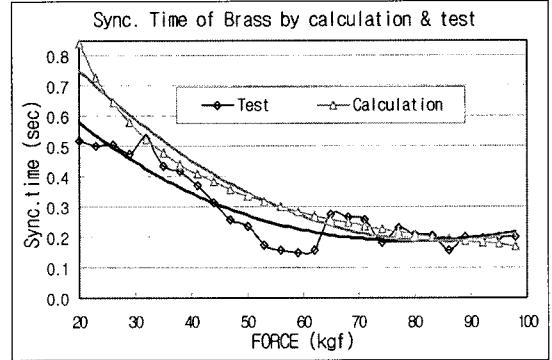


Fig. 10 Results of synchronizing time with respect to force for brass ring compared test and calculation

4.3 동기 시간 분석

Fig. 9은 두 마찰재별 동기시간이 변속력에 반비례해서 줄어들며 동계 재질 대비 페이퍼 부착 견본이 동기 시간 면에서 30%정도 성능우위를 동일하게 보이고 있음을 검증했다⁽²⁾.

이론과 실제 실험에서의 차이를 다음의 결론단계에서 아래의 내용과 같이 분석 하였다.

동계 재질 대비 페이퍼 부착 동기 장치 링이 매회 변속시간의 산포면에서도 안정됨을 보인다.

5. 결론

재질이 상이한 두 종류의 마찰재 견본에 대한 이론적 계산과 실험 결과를 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 도출 하였다.

Fig. 10, 11의 그래프에서 볼 수 있듯이, 변속력의 실제 사용 영역인 60~100kgf에서의 동기 장치 링의 성능 혹은 용량을 평가하는, 동기 시간에 대하여 이론식에 의존한 해석을 실시하는 기존의 해석방법에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 분석 결과를 볼 수 있듯이 이론과 실제 실험사이의 상용 영역 내에서는 상호 편차가 크지 않음을 확인하였다. 이는 이론 해석의 실효성을 증명한 것이다.
- (2) 신 마찰재 등 마찰계수가 높은 고성능 마찰재를 적용하기 위한 초기 검토 시 현재 사용하는 계산식의 유효함을 증명하였다⁽⁶⁾.
- (3) 변속력을 변경하면서 각 변수들의 변동이 변속력과 동기 시간을 곱한 역적(F.dt)이 상용 영역 내에서는 일정

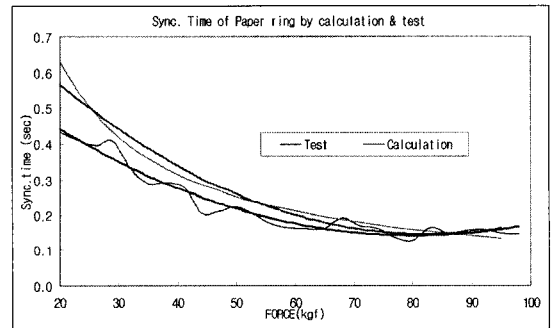


Fig. 11 Results of synchronizing time with respect to force for paper ring compared test and calculation

함을 검증하여 해석의 바탕이 됨을 검증하였다.

- (4) 향후 상용 영역 밖에서 차이를 나타내는 영향 인자를 찾고 규명하되 렌드폭, 와이핑 그루브등의 영향을 분석 평가하는 연구를 하고자 한다.

또한, 신 마찰재 중 카본 등의 다양한 마찰재를 포함한 비교 분석 하고자 한다.

참고 문헌

- (1) Gunter, L. and Helmut, P., 1986, "Synchronizer Blocker Ring With Organic Lining," *SAE Paper 860384*, pp. 3~9.
- (2) Richard, J. and Kirk, W., 1968, "Manual Transmission Synchronizers," *SAE Paper 680008*, pp. 36~38.
- (3) Yoichiro, O. and Kiyoshi, K., 1989, "Double-cone

synchronizer with paper Lining for Trucks,” *SAE Paper 902278*, pp. 4~5.

- (4) Kim, D. H., 2003, “A study on friction coefficient of Hydraulic Driving member by Neural Network,” *Trans. of KSMTE*, Vol. 12, pp. 54.
- (5) Kim, J. H., 2004, “A dry wear behavior as hardness

difference in a dual disc on disc sliding wear tests,” *trans. of KSMTE*, Vol. 13, No. 5, pp. 19~23.

- (6) Shigeo, M., 1998, “Synchronizer and shift system optimization for improved manual transmission,” *SAE Paper 891998*, pp. 2~10.