

한, 일산 연삭 슷돌의 연삭 성능 평가에 관한 연구

강재훈*

A study on the Grinding Ability Evaluation of Grinding Wheel made in Korea and Japan

Jae-Hoon, KANG

Abstract

Although the system for establishing grinding operation standards mainly depends on the simulation method, it is desirable to obtain highly reliable grinding data and to develop experimental technology. And, it also needs to modify the simulation models if the simulation results do not coincide with special situation due to the difference of grinding machine, wheels and workpiece materials.

If simple tests are carried out to evaluate these specificity, the reliability and utility of the system can be raised higher. Therefore, it is required for evaluating wheel ability and confirming the validity of the experimental methods as well as the possibility of exchanging the experimental data between Korea and Japan to perform several kinds of grinding experiments.

In this paper, experiments of cylindrical plunge grinding were conducted using the wheels of the same specification made by three typical grinding wheel manufacturers both in Korea and Japan, respectively. The grinding power consumption, grinding force, the ground surface roughness, and wheel wear were measured under the same dressing and grinding conditions. The average value and standard deviation of the experiment results were calculated to compare the grinding performance of the wheels made in both countries.

The experiment results show that the grinding wheel performance of Korea's is nearly equal to that of Japan's for general purpose of grinding operation. In conclusion, it is possible to exchange the experimental data between Korea and Japan.

* 한국기계연구원 선임연구원

1. 서 론

최종 다듬질 공정에 폭 넓게 적용되는 연삭 가공은 대표적인 정밀 기계 가공 방법으로써, 최근에 있어서는 가공면 품위 및 가공 정도의 향상뿐만 아니라 생산성을 극대화하기 위하여 가공 능력의 향상에 관한 대책이 요구되고 있다^{1,2)}. 또한, 높은 가공 재현성과 유연성있는 자동화 생산 작업을 추구하기 위하여 NC 및 CNC화 연삭 가공 시스템의 개발에 관한 관련 연구들이 진행되고 있다.

그러나 다수의 가공 영향 인자들로 인하여 연삭 기구가 매우 복잡하게 이루어지기 때문에 다양한 가공 목적에 적합하도록 가공 조건을 설정한다는 것이 용이하지 않다³⁾. 또한, 연삭 트러블의 처리도 대부분의 경우에 있어서 숙련자의 경험과 지식에 거의 의존하고 있으며, 기술적으로도 체계화되지 않은 부분이 많으므로 연삭 작업의 표준 설정 시스템을 개발하여 적용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다⁴⁾.

이러한 연삭 작업의 표준 설정 시스템을 국제적으로 공유하기 위해서는 연삭기와 연삭 스톡 및 공작물 등의 작업 현장 특성에 대응하여 모델의 계정수를 수정할 필요가 있으므로 이들에 대한 연삭 성능을 평가하여 비교하는 실험적인 연구가 먼저 선행되어야 한다.

일반적으로 연삭 성능을 평가하는 기법으로는 다양한 센서들을 이용하여 가공 공정 중에 연속적으로 가공음, 연삭기의 주축 회전용 모터에 부여되는 전류 및 동력, 공작물에 부여되는 연삭 저항 등을 측정하거나 가공 후에 공작물의 가공면 품위를 측정하여 비교하는 한편, 연삭 스톡의 마멸을 관찰하는 방법들이 널리 적용되고 있다^{5,6)}.

본 연구에서는 한국과 일본이 공동 개발하고자하는 연삭 작업의 표준 설정 시스템을 위하여 양국에서 생산하고 있는 연삭 스톡의 성능을 평가, 비교함으로써 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램의 공유 가능성 및 연삭 가공 데이터의 상호 호환성을 확인하고자 대표적인 제조 회사들의 제품들을 대상으로 하여 다양한 연삭 가공 실험을 수행함으로써 연삭 동력, 연삭 저항, 가공면 거칠기 및 연삭 스톡의 마멸 등을 측정하여 비교하였다.

2. 연삭 성능 평가 실험

2. 1. 실험 장치 및 시스템 구성

본 실험에서 사용한 연삭 실험 시스템의 사진 및 개략도를 Photo.1과 Fig.1에 각각 나타내었다.

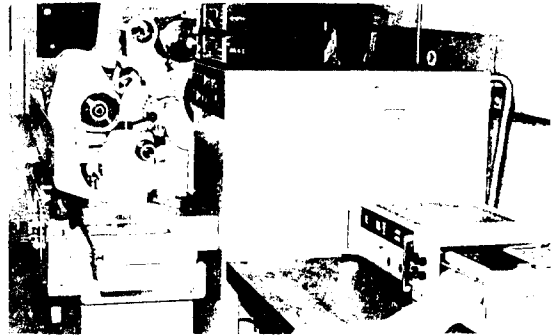


Photo. 1 Apparatus of Experimental System

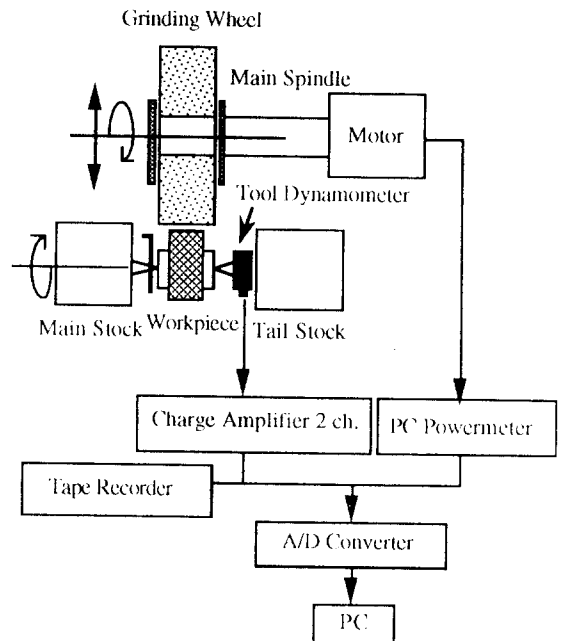


Fig. 1 Schematic Illustration of Experimental Set-up

연삭기는 3.75 kW의 주축 동력을 지니는 유압식 초정밀 원통 연삭반 (GUX-25×250, TOYODA Co., JAPAN)을 사용하였으며, 공작물은 크롬-몰리브덴강

(SCM440)을 열처리하여 사용하였다.

연삭 슷들은 한국과 일본 양국의 3 대 전문 제조 업체 (한국측: 제일, 삼양, 금성, 일본측: 노리다케, 크레노턴, 미쯔이)를 각각 선정하여 일반적으로 널리 사용되는 1A1형 WA60K7V 사양의 것을 구입하여 사용하였다.

연삭기의 주축 구동용 모터에 AC Powermeter (Type2503, YOKOGAWA Co., JAPAN)를 접속하여 연삭 동력을 측정하는 한편, 연삭기의 심압대 센터에 압전 소자형의 연삭 저항 검출기 (GRT220, TOYODA Co., JAPAN)를 장착하여 연삭 저항을 측정하여 증폭기 (DA-300, TOYODA Co., JAPAN)에서 충분히 증폭시킨 후에 테이프 레코더(VS-0801, RACAL RECORDS Co., ENGLAND)에 각각 기록, 저장하였으며, PC를 이용하여 데이터들을 정리하여 비교, 고찰하였다.

3차원 비접촉식 표면 측정기 (NANOSURF 488, SAS TECH. Co., FRANCE)를 이용하여 가공면의 거칠기를 측정하였으며, 전기식 마이크로미터 (SE201, MITHUTOYO Co., JAPAN)를 이용하여 연삭 슷들의 마멸량을 측정하였다.

2.2. 실험 방법

Table 1. Experimental conditions

Grinding M/C	High Precision Universal Cylindrical Grinding M/C Model : GUX-25×100(JAPAN, TOYODA Co.) Power of Main Spindle Motor : 3.75kW
Grinding Wheel	WA60K7V Size : (D)405×(d)76×(W)40mm
Workpiece	SCM440(Hrc45, Heat Treatment Preformed) Size : (F)65×(L)20mm
Principal Grinding Speed	1,750m/min(1.485rpm)
Grinding Type	Plunge Cutting Type
Rough Grinding	Dressing : 0.3mm/rev. of wheel×10mm/pass×5times Depth of Cut : 10mm/rev. of workpiece q=60 (*q : Speed Ratio of Grinding Wheel and Workpiece)
Fine Grinding	Dressing : 0.1mm/rev. of wheel×5mm/pass×4times Depth of Cut : 2mm/rev. of workpiece q=100 Spark-out : 4sec
Coolant	Solution Type 1.7%

본 실험의 조건을 Table 1에 나타내었다. 연삭 주축도는 금속재의 일반 연삭 가공에 적합한 1,750 m/min로 설정하였으며, 연삭 슷돌 마멸의 측정을 고려하여 단차 형상 가공이 되도록 플런지 커팅 방식의 외경 연삭 가공을 수행하였다.

일반적으로 2단 연삭 공정을 채택하는 경향을 감안하여 거친 연삭과 고운 연삭 가공으로 분류하여 가공 실험을 수행하였다.

거친 연삭의 경우에는 1.0 캐럿의 단석 다이아몬드 드레서를 이용하여 0.3 μ m/rev. of wheel의 테이블 이송 속도로서 10 μ m의 절삭 깊이량을 양단에서 5 회 가하는 방식으로 드레싱을 수행한 후, 공작물과 연삭 슷돌의 속도비 60으로써 10 μ m/rev.of workpiece의 절삭 깊이량을 가하며 각 공작물에 대하여 1 μ m의 직경 감소량이 될 때까지 가공을 수행하였다.

고운 연삭의 경우에는 0.5 캐럿의 단석 다이아몬드 드레서를 이용하여 0.1 μ m/rev. of wheel의 테이블 이송 속도로서 5 μ m의 절삭 깊이량을 양단에서 4 회 가하는 방식으로 드레싱을 수행한 후, 공작물과 연삭 슷돌의 속도비 100으로써 2 μ m/rev.of workpiece의 절삭 깊이량을 가하며 각 공작물에 대하여 0.5 μ m의 직경 감소량이 될 때까지 가공하는 한편, 최종적으로 4 초 동안 스파크 아웃 공정을 수행하였다.

초기 드레싱을 수행함으로써 연삭 슷돌의 진원도를 바로 잡아 채터 진동 등의 발생을 억제하는 한편, 연삭 슷돌 입자의 예리한 절삭 날끝 상태를 생성시킨 후, 한국과 일본의 제조 업체 각 3 사로 부터 구입한 동일한 사양의 연삭 슷돌을 사용하여 각각의 연삭 경우에 대하여 10 개씩의 공작물을 연속적으로 가공하는 과정에서의 연삭 동력과 연삭 저항의 변화를 측정하여 비교하였다.

예비 실험에 의하여 고운 연삭의 경우에 있어서는 연삭 슷돌의 마멸이 두드러지게 나타나지 않아 비교하기 곤란한 관계로 거친 연삭의 경우에 대해서만 측정하여 비교하였다. 연삭 슷돌의 가공면에 단차 형상으로 형성된 반경 방향으로의 마멸 깊이를 연삭기의 베드에 마그네틱 마운트에 의하여 부착된 전기식 마이크로미터를 이용하여 가공 시스템상에서 직접 측정하였다.

연삭 동력, 연삭 저항, 가공면 거칠기 및 연삭 슷돌의 마멸에 관한 측정 데이터들을 연삭 슷돌의 제조 업체 및 국가별로 분류한 후, 평균치 및 표준 편차를 구하여 연

삭 성능의 평가 및 비교를 하였다.

2.3. 결과 및 고찰

한국과 일본의 6 개 업체에서 제조한 연삭 슷들들을 사용하여 거친 연삭을 수행한 경우에 있어서 연삭 동력을 측정 한 후, 각 경우에 있어서의 연삭 진행에 따른 변화를 비교하여 Fig.2에 나타내었다.

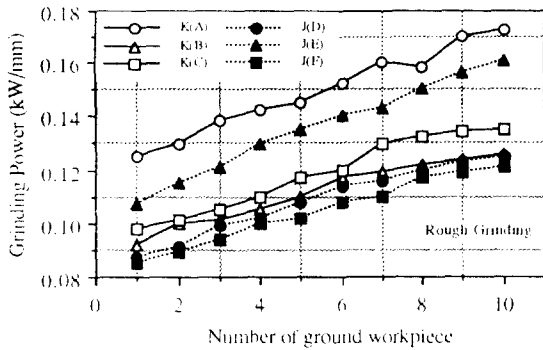


Fig. 2 Comparison of Grinding Power According to Manufacturing Company of Grinding Wheel

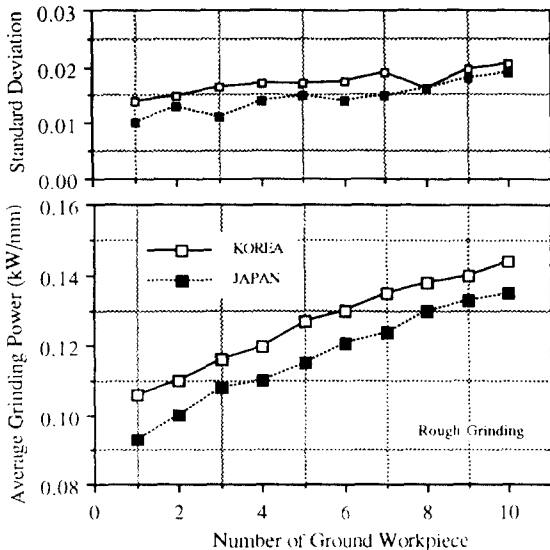


Fig. 3 Comparison of Average Grinding Power and Standard Deviation According to Manufacturing Country of Grinding Wheel

모든 경우들에 있어서 연삭이 진행됨에 따라 연삭 동력이 거의 선형적으로 증가하는 경향을 알 수 있다. 그러나 제조 업체별로는 절대값의 차이가 약간씩 나타남으로써 K(A), J(E)의 경우에 약간 높고 J(F)의 경우에는 상대적으로 낮은 동력으로 연삭이 이루어짐을 알 수 있다.

Fig.2의 결과를 한국과 일본의 국가별로 분류하여 연삭의 진행에 따른 연삭 동력 평균값의 변화 및 표준 편차를 비교하여 Fig.3에 나타내었다.

연삭 동력의 평균값이 변화하는 경향은 거의 같지만 한국산의 경우에 상대적으로 약 10% 정도 높은 한편, 표준 편차가 한국산의 경우에 약간 크고 변화의 폭도 역시 일본산에 비하여 비교적 큰 것을 알 수 있다.

한국과 일본의 6 개 업체에서 제조한 연삭 슷들들을 사용하여 거친 연삭을 수행한 경우에 있어서 가공면의 거칠기를 측정 한 후, 각 경우에 있어서의 연삭 진행에 따른 변화를 비교하여 Fig.4에 나타내었다.

K(A)의 경우에 있어서만 절대값이 다소 크게 나타나는 한편, 나머지의 경우들에 있어서는 연삭이 진행됨에 따라 두드러진 차이없이 비슷한 값으로 거의 유사하게 변화하는 경향을 알 수 있다.

Fig.4의 결과를 한국과 일본의 국가별로 분류하여 연삭의 진행에 따른 가공면 거칠기 평균값의 변화 및 표준 편차를 비교하여 Fig.5에 나타내었다.

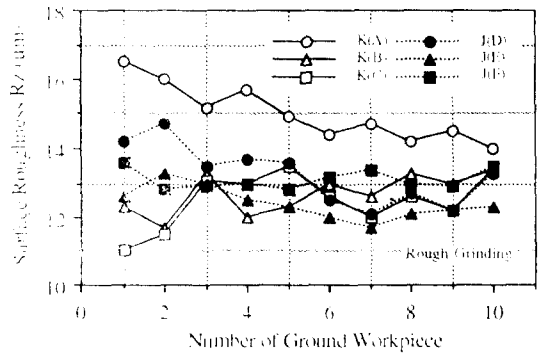


Fig. 4 Comparison of Surface Roughness According to Manufacturing Company of Grinding Wheel

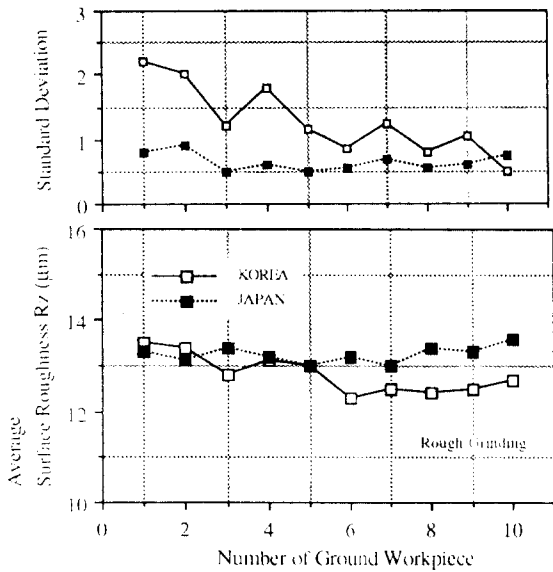


Fig. 5 Comparison of Average Surface Roughness and Standard Deviation According to Manufacturing Country of Grinding Wheel

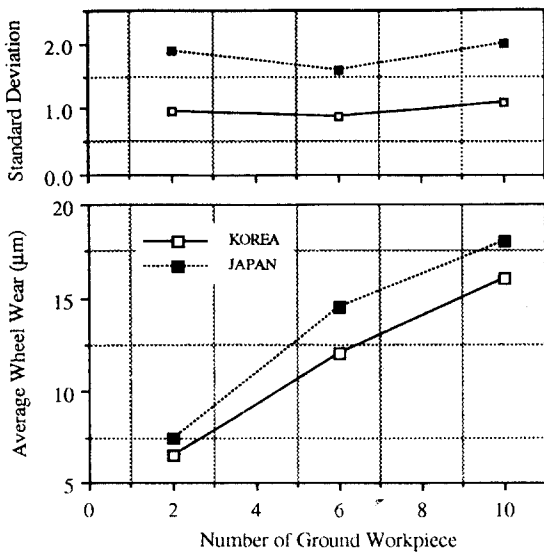


Fig. 6 Comparison of Average Wheel Wear and Standard Deviation According to Manufacturing Country of Grinding Wheel

가공면 거칠기의 평균값은 거의 비슷하게 나타나며 변화하는 경향이 거의 나타나지 않지만 한국산의 경우에 상대적으로 표준 편차가 다소 크고 변화의 폭도 비교적 큰 것을 알 수 있다.

한국과 일본의 6개 업체에서 제조한 연삭 슷돌들을 사용하여 거친 연삭을 수행한 경우에 있어서 연삭 슷돌의 마멸량을 측정 한 후, 한국과 일본의 국가별로 분류하여 연삭의 진행에 따른 평균값의 변화 및 표준 편차를 비교하여 Fig.6에 나타내었다.

연삭 슷돌 마멸의 평균값이 변화하는 경향은 거의 같지만 일본산의 경우에 상대적으로 약 15 % 정도 높은 한편, 표준 편차가 일본산의 경우에 약간 크고 변화의 폭도 역시 한국산에 비하여 비교적 큰 것을 알 수 있다.

한국과 일본의 6 개 업체에서 제조한 연삭 슷돌들을 사용하여 고운 연삭을 수행한 경우에 있어서 연삭 동력을 측정 한 후, 한국과 일본의 국가별로 분류하여 연삭의 진행에 따른 평균값의 변화 및 표준 편차를 비교하여 Fig.7에 나타내었다.

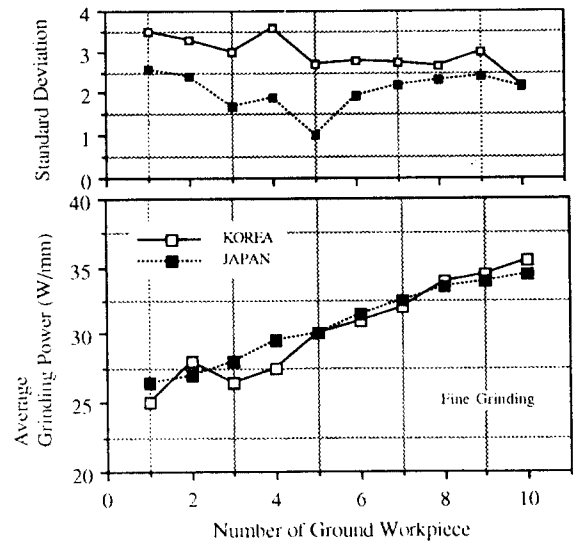


Fig. 7 Comparison of Average Grinding Power and Standard Deviation According to Manufacturing Country of Grinding Wheel

절대값은 거친 연삭 경우의 약 25 % 정도로써 유사하게 나타나며 연삭 동력의 평균값이 변화하는 경향은

거의 같지만, 한국산의 경우에 표준 편차가 약간 크게 나타나는 한편, 변화의 폭은 일본산의 경우에 약간 크다는 것을 알 수 있다.

한국과 일본의 6 개 업체에서 제조한 연삭 스톨들을 사용하여 고운 연삭을 수행한 경우에 있어서 가공면 거칠기를 측정 한 후, 한국과 일본의 국가별로 분류하여 연삭의 진행에 따른 평균값의 변화 및 표준 편차를 비교하여 Fig.8에 나타내었다.

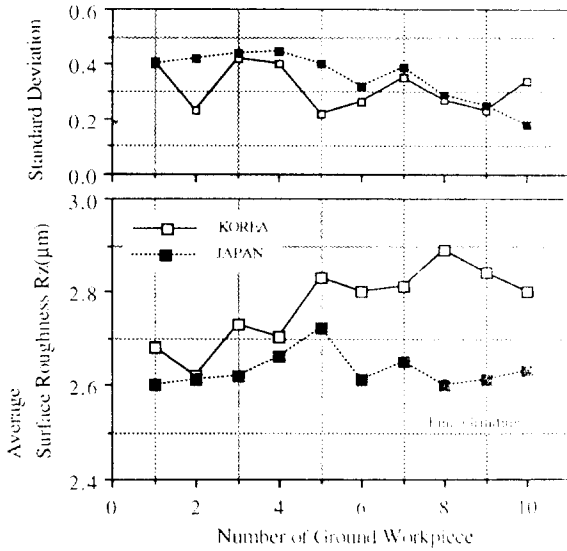


Fig. 8 Comparison of Average Surface Roughness and Standard Deviation According to Manufacturing Country of Grinding Wheel

절대값은 거친 연삭 경우의 약 20 % 정도로써 유사하게 나타나며 일본산의 경우에는 가공면 거칠기의 평균값이 연삭의 진행과 관계없이 거의 일정하지만, 한국산의 경우에는 연삭의 후반에 있어서 점차 상승하여 약 0.2μm만큼 커지는 것을 알 수 있다. 한편, 표준 편차는 거의 동일하게 나타나지만 일본산의 경우에 표준 편차의 폭이 상대적으로 큰 것을 알 수 있다.

신뢰성있는 총괄적인 연삭 성능을 평가하기 위하여 한국과 일본의 6 개 업체에서 제조한 연삭 스톨들을 사용하여 거친 연삭을 수행한 경우에 있어서 연삭 동력, 연삭 저항, 가공면 거칠기 및 연삭 스톨들의 마멸을 측정 한 후, 전체적인 평균값에 대한 각 업체의 표준 편차를

산정하는 한편, 이에 대한 공작물 10개의 표준 편차를 각각 산정하여 업체별로의 평균값을 계산한 것을 Fig.9에 비교하여 나타내었다.

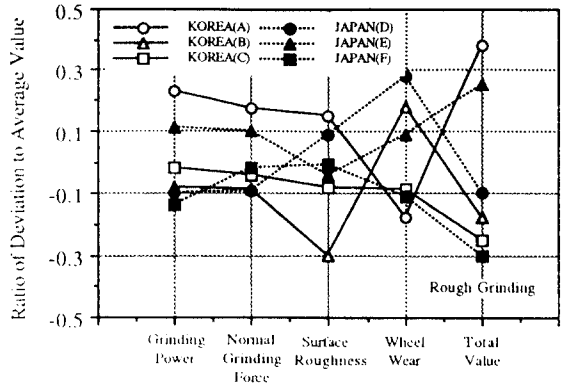


Fig. 9 Total Evaluation of Various Measured Values in Rough Grinding

일반적으로 연삭 스톨들의 제조 업체나 국가에 관계없이 모든 경우들에 있어서 황축의 파라미터들이 비교적 적은 폭으로 편중되어 있는 한편, 파라미터들의 총 평균값이 국가별로 집중되어 있지 않은 것을 확인할 수 있으며, 따라서 연삭 성능 측면에서 제조 업체에 무관하게 고운 연삭에 비하여 상대적으로 양호하고 제조 국가별로도 차이가 거의 없다는 것을 알 수 있다.

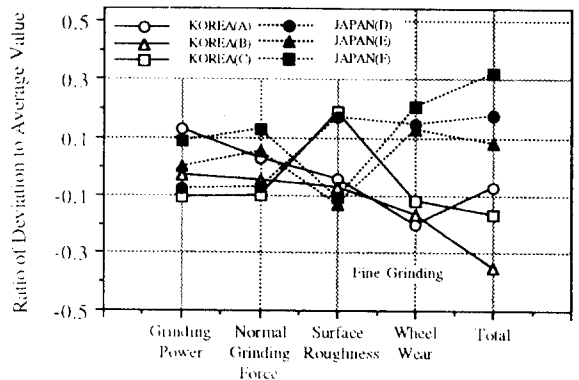


Fig. 10 Total Evaluation of Various Measured Values in Fine Grinding

Fig.9와 동일한 방법으로 고운 연삭을 수행한 경우에 있어서의 결과를 Fig.10에 나타내었다.

Fig.9의 경우와 같이 연삭 슯돌의 제조 업체나 국가에 관계없이 모든 경우들에 있어서 횡축의 파라미터들이 비교적 적은 폭으로 편중되어 있으나, 파라미터들의 총 평균값에 있어서 제조 업체에 따른 차이가 상대적으로 비교적 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

한편, J(F)의 경우에 있어서 Fig.9와는 달리 크게 순위가 바뀌었다는 것과 국가별로 집중되어 있는 것을 확인할 수 있으며, 따라서 총체적인 연삭 성능 측면에서는 한국산의 경우에 있어서 다소 우수하게 나타난다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

한국과 일본에서 제조한 연삭 슯돌들을 대상으로 하여 연삭 성능을 평가, 비교하기 위한 다양한 가공 실험을 수행함으로써 얻을 수 있었던 주요한 결과들을 요약하면 다음과 같다.

- ① 한국산의 연삭 슯돌은 고운 연삭과 마멸 측면에 있어서 양호한 연삭 성능을 지닌다.
- ② 연삭 성능의 안정성 측면에 있어서는 일본산의 연

삭 슯돌이 상대적으로 약간 우수한 특성을 지닌다.

- ③ 양국산 연삭 슯돌의 연삭 성능은 거의 동등하므로 연삭 가공 데이터들은 충분한 호환성이 있다.

참 고 문 헌

- 1) Toshikatsu Nakajima, "Grinding Process of Hard to Grinding Materials", JSPE, Vol.58, No.12, pp. 1973-1979, 1992
- 2) Makoto Kurusu, Heiji Yasui, "Studies on Cylindrical Traverse Grinding in High Depth of Cut", JSPE, Vol.49, No.12, pp.1167-1175, 1983
- 3) R.P.Lindsay, R.S.Hahn, "On the Basic Relationship between Grinding Parameters", Annals of the CIRP, Vol.19, No.2, pp.657-666, 1971
- 4) 岡村健二郎, 研削加工, 日本精密機械, 第50卷, 第11號, pp.69-78, 1984
- 5) Tokuhiko Nishihara, "A Study on the Geometric Accuracy in Surface Grinding", JSPE, Vol.57, No.9, pp.1597-1602, 1990
- 6) D.Dornfeld, "An Investigation of Grinding Wheel Loading Using Acoustic Emission Sensor", ASME, Vol.49, No.9, pp.106-111, 1984