

주축의 온도제어를 위한 능동 냉각기법에 관한 연구

이찬홍, 이상호, 이후상(한국기계연구원)

주제어 : 주축(Spindle Unit), 온도제어(Temperature Control), 열변형(Thermal Deformation), 능동 냉각기법(Active Cooling Method), 오일 냉각기(Oil Cooler), PID 제어(PID Control)

생산시스템의 고속화와 고능률화 추세로 인해서 공작기계는 가공의 종류에 관계없이 고속 및 고부하 가공이 필수적 조건이 되었다. 고속 머시닝센터는 최근 40,000 rpm까지 회전하고 있으며 Hard Turning Machine은 최대 7,000 rpm 밖에 되지 않지만 열처리된 재료를 선삭하기 때문에 기계가 고부하를 받게 되고 고속 원통연삭기는 5,000 rpm으로 회전하지만 고압의 유정압 주축을 사용하여 주축에서 발열이 야기된다. 이러한 회전과 부하조건은 공작기계의 관점에서 모두 주축에 고발열을 유도하게 때문에 고정밀 가공을 생명으로 하는 공작기계에서는 열변형을 억제하기 위해서 주축을 항온으로 또는 외기온도에 동조 되도록 냉각제어할 필요가 있다. 일반적인 주축의 냉각은 수동적 냉각기법으로서 주축에서 발열량의 변화에 관계없이 오일탱크의 일정한 저온오일을 공급 함으로서 주축의 온도를 한계 온도 내로 유지하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이 방법은 주축의 온도를 일정하게 유지하지 못하고 주축의 부하조건에 따라서 온도가 상승하강하여 열변형이 발생하는 단점이 있다. 그러나 상기 수동적 냉각기법을 지금까지 사용하는 가장 주요 이유는 공작기계에 설치된 냉각기가 On/Off 타입의 냉각기이고, 단순히 냉각기를 주축에 직결시키고 주축대 냉각오일 출구온도를 기준으로 냉각기를 작동시키면 공급오일이 도착되는 시간과 출구 오일온도 측정시기 간에 시간적 차이가 있어 냉각제어가 적절하게 실행되지 않고, 냉각기에서 저온오일이 필요이상으로 장시간 동안 공급되어 주축을 과냉각시킬 수 있어 오히려 열적으로 불리한 상황으로 만들기 때문이었다. 이러한 문제현상은 주축의 발열주기가 짧은 경우 자주 일어나고, 발열주기가 긴 경우에도 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 를 20%이상 상회하는 현상이 나타난다(Fig.1).

본 연구에서는 수동적 냉각기법의 열적 단점을 개선하고자 능동적 냉각기법을 개발하여 주축의 발열상황에 상응한 냉각을 실시하여 주축의 온도를 항온으로 유지하였다. 여기서 일반적으로 공작기계에서 사용하는 On/Off 타입의 냉각기는 공작기계의 원가절감을 위해서 불가피하게 사용해야 하므로 최종적으로 On/Off 냉각시간을 제어하는 방식으로 온도를 제어하였다. 다양한 발열상황에 대응하고 빠른 온도 안정화를 위해서 냉각회로는 PID 제어 유니트를 내재시켰다. 최적의 PID 파라미터 설정을 위해서는 출력 진동방식의 Auto Tuning 방법을 사용하였다. 본 능동적 냉각기법의 타당성을 검증하기 위해서 주축시스템을 Simulation 할 수 있는 가변 발열장치와 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ On/Off 타입 냉각기를 실험장치로 구성하여 주축 오일온도 제어오차를 평가하였다. 측정결과 주축의 오일온도 제어오차는 $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 이하의 안정된 제어결과를 얻었다.

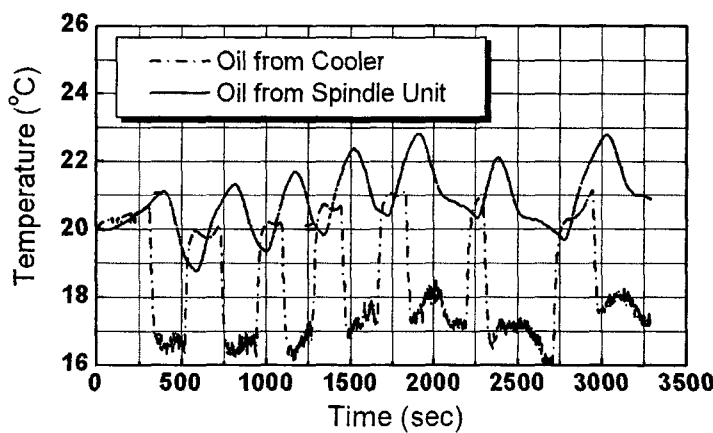


Fig. 1 Output Oil Temperature of Spindle Unit without Active Cooling