

변풍량 공조시스템에서의 송풍동력 절감



이 태 원

서론

변풍량(VAV, variable air volume) 공조시스템은 흔히 공조시스템 가운데 가장 에너지절약적인 것으로 일컬어지고 있다. 이와 같은 사실은 특히 부분부하 운전시에 두드러지며, 최근의 연구결과에 의하면 이 시스템의 에너지소비는 덕트시스템의 구성이나 냉방부하의 불균일성 그리고 효과적인 송풍기 속도제어의 여하에 따라서도 크게 영향을 받는 것으로 알려지고 있다.

UMIST의 연구결과에 따르면 변풍량 공조시스템의 덕트구성이 루프형(looped)일 때가 기존의 방사형(radial)일 때에 비해 상당한 양의 에너지 절감이 가능할 뿐만 아니라, 정압센서의 위치가

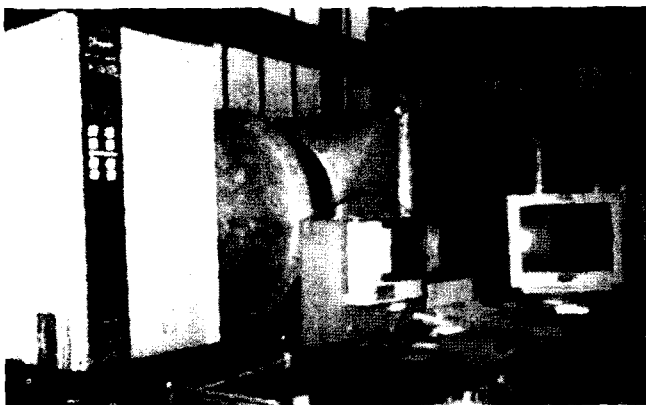
시스템의 운전에 영향을 미침으로써 추가적인 에너지절약이 가능한 것으로 보고되고 있다.

영국 건물연구소(BRE, building research institute)에서는 변풍량 공조시스템에서의 에너지 절약적인 송풍기 제어와 덕트의 설계방법을 개발 중이며, 여기서 수행한 최근의 실험에서는 루프형 시스템의 성능을 기존의 방사형 시스템의 경우와 비교하였다. <그림 1>에 보인 BRE의 실험시설에서는 각 분지각(branch leg)에서의 압력 손실과 루프의 단면변화가 가능하여 서로 다른 단면길이를 가질 수 있도록 구성하였다.

이 시스템에는 전형적인 건물모델에 대하여 컴퓨터에 의해 제어되는 2개의 변풍량 제어유닛(VAV terminal unit)이 설치되어 있다. 건물모델

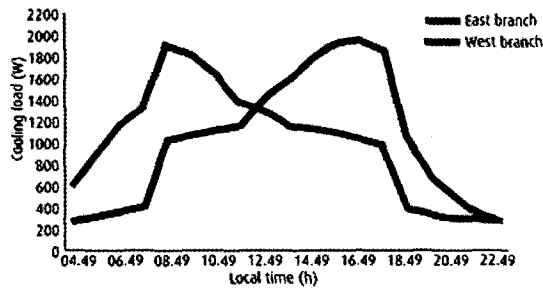
은 CIBSE에서 설정한 방법에 2개의 단순화된 업무용 건물의 냉방부하패턴을 적용하여 개발되었다. 건물은 남북을 축으로 하고 있고 구획된 사무실을 가지고 있으며, 동쪽과 서쪽의 표면만이 유리로 구성되어 있는 것으로 가정하였다. 그 결과 대표적인 동쪽과 서쪽의 각 사무실의 냉방부하는 <그림 2>에 보인 바와 같이 큰 차이가 발생하게 되었다.

시스템 실험시설에는 <그림 3>에 보인 바와 같이 30m의 방사형 분지각 2조와 10m의 루프단면 1조를 설치하였다. 모든 덕트계통에서 압력손실은 전



<그림 1> The BRE VAV test rig with the Danfoss frequency inverter in the foreground for controlling the fan

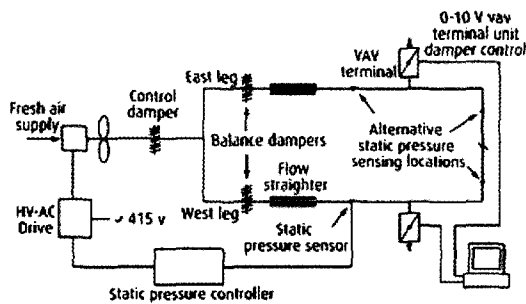
이 태 원 한국건설기술연구원 도시설비그룹, 수석연구원(twlee@kict.re.kr)



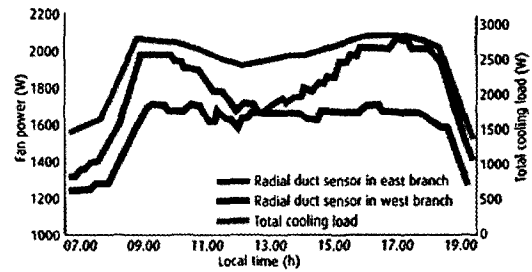
〈그림 2〉 The office cooling load profile

〈표 1〉 Maximum instantaneous fan energy, fan energy consumption and its rate

실험의 종류	최대 송풍동력(W)	절감율 (%)	일간 에너지 소비량(kWh)	절감율 (%)
방사형(서쪽 센서)	2160	-	20,94	-
방사형(동쪽 센서)	2040	5,5	20,46	2,3
루프형(동쪽 센서)	1800	16,7	19,88	5,1
루프형(서쪽 센서)	1800	16,7	20,00	4,5
루프형(서쪽 끝 센서)	1800	16,7	19,66	6,1
루프형(동쪽 끝 센서)	1800	16,7	19,50	6,9



〈그림 3〉 Schematic of the BRE test rig

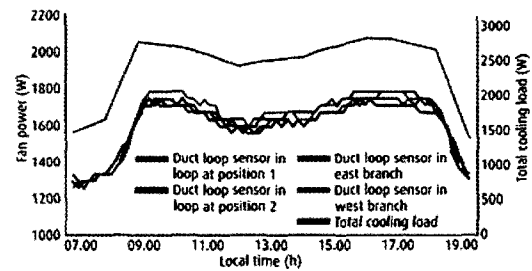


〈그림 4〉 Comparison of fan energy consumption between static pressure sensor located in east and west branches of the radial system

형적인 설계치인 최대유량일 때 1Pa/m를 기초로 하였다. 정압제어기는 Danfoss 주파수변환기에 의해서 송풍기의 회전속도를 제어하도록 설정함으로써 모든 실험의 측정점에서 300Pa이 유지되도록 하였다.

덕트시스템의 구성실험

실험에서는 먼저 송풍기 회전속도의 제어에 사용되는 정압센서의 설치위치의 변화가 송풍기의 회전속도에 어떤 영향을 미치는가를 알아보기 위해서 이를 서로 다른 위치에 설치하고 측정을 실시하였다. 일반적으로 산업계의 경험적인 통념에 따르면 정압센서는 공조용 공기의 공급을 위한 송풍기로부터 검지덕트(Index Duct) 사이의 2/3 하류지점에 설치하는 것으로 되어 있다. BRE의 실험에서도 동쪽과 서쪽 2개의 분지



〈그림 5〉 Comparison of fan energy consumption for all static pressure sensor locations for the looped system

각에 각각 센서를 설치할 때 이와 같은 관례를 따랐다. 그러나 루프시스템의 경우에는 〈그림 3〉에 보인 바와 같이 동쪽 또는 서쪽 분지각의 끝이라고 판단되는 위치에 센서를 추가로 설치하였다.

〈표 1〉은 각각 6종류의 실험에 대한 순간 최대 송풍동력의 절감량과 절감율 및 오전 7시부터 오후 7시까지 측정된 일간 송풍동력 소비량과 절감율을 나타낸 것이다. 이 때 소비되는 송풍동력의 절감율은 서쪽에 정압센서를 설치하는 방사형 덕트시스템을 기준으로 하여 계산하였다. 〈그림 4〉 및 〈그림 5〉는 앞에서와 같은 2가지 종류의 덕트시스템의 경우 정압센서의 설치위치가 송풍동력의 소비에 미치는 영향을 건물의 총 냉방부하패턴과 함께 비교 도시한 것이다.

송풍동력의 절감

냉방부하 또는 송풍동력이 최대에 달하는 순간에는 루프형 덕트시스템이 방사형의 경우보다 상대적으로 큰 에너지 절감을 제공하는 것은 분명하다. 그러나 12시 부근의 송풍기 소비동력을 생각할 때 절감율은 5~7% 정도로 축소된다. 결국 방사형 덕트시스템과 비교할 때 루프형 덕트시스템의 송풍동력 절감은 냉방부하의 불균일 정도와 직접 관련이 있고, 또한 각 변풍량 유닛에서 요구되는 공기의 양과 직접적으로 연관되어 있다고 할 수 있다.

불균일의 정도는 0(동쪽과 서쪽의 냉방부하 또는 공기의 체적유량이 같은 경우)으로부터 최대치(건물의 양쪽 사이의 냉방부하 차이가 최대에 달하는 경우)까지 변화한다. 2가지 형태의 덕트시스템에서 이와 같은 불균일의 영향으로 인하여 송풍기의 소비동력이 달라지는 이유는 분명하다.

먼저 불균일한 냉방부하의 처리를 요하는 루프형 시스템에서는 공조용 공기를 각각의 루프에 해당하는 부하의 처리를 위한 공기량에 비례하여 2개의 분지각을 통해서 공급한다. 이 시스템의 정압센서는 매우 작은 정도의 공기 체적유량의 변화만을 받게 되며, 송풍기의 동력소비패턴도 〈그림 5〉에 보인 바와 같이 냉방부하의 불균일 정도에 관계없이 건물의 총 냉방부하패턴

에 거의 일치한다.

반면 방사형 시스템에서는 건물 각 방향의 냉방부하를 처리하기 위해서 필요한 모든 공기는 각 방향의 덕트의 하류방향으로 공급된다. 이 시스템에서는 냉방부하의 불균일에 따라 정압센서는 매우 큰 체적유량의 변화를 겪게 된다. 정압이 측정되는 분지각에서 큰 유량이 요구되는 경우에는 설정점에서의 정압을 유지하기 위해 송풍기의 회전속도는 증가하며, 이로 인해 하루 중 이 기간의 송풍기에 의한 에너지소비는 증가하게 된다. (〈그림 4〉 참조)

냉방부하가 불균일할 때 2가지 덕트시스템 사이의 최대 송풍동력 소비량의 차이는 부하가 가장 불균일한 영역에서 발생하며 정압센서는 방사형 덕트시스템에서 공기의 체적유량이 가장 큰 분지각에서의 압력을 검지한다. 일간 부하의 불균일 정도가 변화하는 경우에는 송풍기 소비동력의 차이는 순간 최대값으로부터 감소될 것이며 이는 건물의 냉방부하 패턴에 따라 좌우될 것이다.

결과적으로 루프형 덕트시스템에서는 정압센서의 설치위치가 순간 또는 총 송풍동력의 소비에 뚜렷한 영향을 미치지 않는 반면, 방사형 시스템에서는 송풍기의 순간 소비동력은 센서가 설치된 분지각에서의 공기 체적유량에 직접 영향을 받는다. 냉방부하의 불균일 정도가 크고 센서가 설치되는 분지각에서의 유량이 클 때에는 송풍기의 순간 소비동력은 최대로 된다. 또 오전과 오후 사이에는 부하 불균일 정도의 차이가 작아서 송풍기의 순간 최대 및 총 소비동력의 차이도 그다지 크지 않음을 알 수 있다.

결론

BRE의 실험을 통해 덕트시스템의 구성방법과 건물 냉방부하의 불균일성 그리고 송풍기의 속도제어가 시스템의 에너지소비에 미치는 영향을 파악하였다. 또한 지금까지 이론적으로만 추측되

어 왔던 기존의 방사형 덕트시스템에 대한 루프형 덕트시스템의 장점이 에너지절약의 가능성을 과대 평가할 수도 있음을 보였다. 실험장치에 사용된 부하패턴의 불균일 정도는 덕트시스템의 변화를 통해 얻어지는 에너지절약의 가능성 및 정도에 영향을 미치는 것도 분명한 사실이다. 따라서 전반적인 에너지절약에 대한 뚜렷한 결론은 내릴 수 없었다.

이를 위해서는 보다 넓은 범위의 파라미터와 변수들을 대상으로 하여 시스템의 민감도를 평

가할 수 있는 추가의 연구가 필요하며, 실질적인 불균일의 범위를 나타내 주는 더욱 현실적인 건물 부하패턴도 또한 요구된다.

〈참고문헌〉

1. D.Butler, M.Swainson and A.Perry, Fan-Energy Savings with VAV, Building Services Journal, pp.55~56, Jul., 2000. ㉮