

산업용 건축물 내 자동제어반의 냉각효율 향상에 관한 연구

A Study on the Enhancement of Cooling Efficiency for the Cabinet of Automatic Controller in the Interior of Industrial Building

김순호*, 박현정**†
Soon-Ho Kim*, Hyun-Jung Park**†

(접수일 : 2013년 05월 24일, 수정일 : 2013년 10월 02일, 채택확정 : 2013년 10월 02일)

Abstract: The improvement of cooling efficiency for the cabinet of automatic controller is the most efficient method of its application. Therefore, this study has been analyzed and investigated the improvement of cooling efficiency and reduction of energy for the cabinet of automatic controller, respectively. So this study was conducted to enhancement of cooling efficiency for the cabinet of automatic controller by making a structure which produces difference of air pressures in the entrance tube of external air. And the structure has capacity of the pyrogen source (PTC elements) to make temperature range from 145°C to 155°C. Consequently, temperatures of the upper, the lower in the interior of the cabinet of automatic controller and the exhaust part were revealed 28.57°C, 23.38°C and 36.14°C (average temperature of the exhaust part in case of existing method : 45°C) in target test of this study, respectively. It was found that the cabinet of the automatic controller has better cooling ability than the cabinet of automatic controller by using an existing method.

Key Words : Cabinet of Automatic Controller, Cooling Efficiency, Reduction of Energy, Entrance Tube of External Air

1. 서 론

전 세계적으로 온실가스 배출에 대한 경각심과 에너지 고갈 위기로 인하여, 각 나라별로 녹색경제에 주력하고 있는 시점에서 상용전원의 저감을 위한 다양한 대체방안들이 각 분야에서 대두되고 있다. 특히, 지구 온난화에 대한 전 세계적인 대응 차원으로, 1992년 리우에서 기후변화협약(UNFC

CC, UN Frame Work Convention on Climate Change)이 채택되었으며, 이어서 1997년 교토에서 미국, 일본, EU 등 선진국의 의무적인 온실가스 배출감축을 위한 교토의정서(The Kyoto Protocol)를 채택함으로써, 기후변화협약의 실질적인 이행을 위한 발판을 구축하였다. 교토의정서에는 특히, 선진국들에게 온실가스 배출량을 1990년 대비 평균 5.2% 감축을 목표로 제시함으로써, 모든 국가들은 일반

**† 박현정(교신저자):신라대학교 건축학부
E-mail : phj@silla.ac.kr Tel : 051-999-5724
*김순호 : 신라대학교 자동차기계공학과

**† Hyun-Jung Park (corresponding author) : Division of Architecture, Silla University.
E-mail : phj@silla.ac.kr Tel : 051-999-5724
*Soon-Ho Kim : Department of Automotive and Mechanical Engineering, Silla university

생활전력의 사용뿐만 아니라, 각 산업현장에서도 탄소 배출량 저감을 위하여 신재생 에너지 활용 등 다양한 방법들을 적용해 가고 있는 실정이다. 그러나 2007년 현재, 신재생에너지의 세계적인 활용비중이 2.4% 정도¹⁾로서, 이를 20 30년 11%로 확대하고자 할 경우 많은 노력이 필요할 것이며, 또한 신재생에너지 자체로서는 저 효율성 문제가 대두되는 바, 이 문제의 해결을 위해서 건설, 기계, 전자 등의 각종 산업용소재 개발 및 기술 개발에 대한 막대한 자금과 원자재부족의 개선이 전제되어야 한다고 판단된다. 따라서 현재로서는 재생에너지로의 대체는 소기의 목적만을 달성할 수밖에 없다고 판단되며, 기존의 각 전력 소비부분에서 최대한 에너지 절약을 이루어야만 하는 실정에 있다. 현재 각종 산업용 건축물 내 자동제어반의 자동 제어화는 급속하게 진행되고 있으며, 이와 더불어 제어기기의 고성능을 위한 소형화 추구에 의한 반도체 고집적화가 이루어지고 있다. 그러나 이러한 제어기기의 고집적화는 필연적으로 자체 중앙처리장치에서의 고열을 수반함과 동시에, 또한 산업체 제어 기기들의 효율성 향상을 위해 이용하고 있는 각 입출력부의 각종 전기장치들에서도 발열이 부가^{2~4)}되고 있어, 에너지 절감 차원에서는 역행하고 있다고 판단된다. Table 1에서는 기존의 자동 제어반 내 전기장치들에서의 부가 발열 내역을 요약하였는데, 이러한 발열체들은 건설, 기계, 전기전자 등의 산업현장에서의 안전과 활용의 편리성 때문에 통합하여 일정공간의 보관함 내부에 장착하여 사용되고 있다. 여기서, 발열 밀도가 높은 밀폐 캐비닛에서는 자연대류 현상으로 인하여 발열 부품을 일정 온도 이하로 유지하기는 어렵기 때문에 캐비닛 내부에 팬을 설치하여 강제대류를 유발시켜 공기를교반시킴으로써, 내부 장치들의 발열을 저감시킬 수 밖에 없는 실정이다. 따라서 산업현장에서는 현재 제어반 내부의 냉각효율 증대를 위해, 강제 공냉 통기시스템 방식인 제어반용 열교환기(캐비닛 팬)를 채택^{5,6)}하여 소기의 냉각 효율을 유지하고 있다. 이러한, 강제 공냉 통기방식의 대부분의 시스템은 Fig. 1에서와 같이, 외부공기 흡입팬과 내부열원 배출팬의 이중 구조를 갖추

Table 1 Interior pyrogens for a cabinet of automatic controller by a forced air cooling method

Items	Quantity of generation heat (General standard)
Small Type Transformer	10VA : About 50% 100VA : About 20% 1KVA : About 10% 3KVA : About 6%
Voltage Regulator	About 10% of Rated Capacity
Large Type Resistor (Fixed/Variable)	About 1/3 of Rated Capacity
Electric Power of Constant Voltage	About 10~15% of Rated Capacity
Uninterruptible Power Equipment (UPS)	1~5KV : About 35% 230KV : About 25%
DC Power Supply	About 30~55% of Rated Output Power
Low Pressure Condenser	About 0.2%
AC Servo Amp	0.1KW : About 50% 0.5KW : About 20% 1KW : About 15% 3KW : About 10%
Power Unit (For Servo Amp)	About 3~5% of Rated Output Power
Invertor	About 5~10% of Rated Output Power
Earth Leakage Breaker (ELB)	MCCB + 5W : About 20W
Electronic Contactor (Magnetic Relay)	4KW : About 10W 7.5KW : About 20W 22KW : About 80W 30KW : About 110W
Calculator(Relay)	About 5W
Small Type Relay (SSC, SSR)	About 1~2W (Per One) Using Current X : About 1.6W
Temperature Regulator	48 X 96 Size : About 5W 96 X 96 Size : About 10W
Computer Body	About 100W~300W(Per One)
CRT	About 60W~130W(Per One)
Fixed Disc	10~20 byte : About 100W

고 운용되고 있으며, 내부 상시 평균온도는 약 45℃ 정도를 유지하고 있어 높은 것으로 판단된다. 특히, 팬들의 소비전력은 각각 최소 약 30W 전후로

사용되어 총 60W가 소비되는 구조이다. 이에 본 연구에서는 이러한 문제점들을 최소화하면서 산업용 자동제어반 냉각시스템의 효율을 향상하고 에너지 절감을 위한 방안의 일환^{7,8)}으로, 외부 공기를 이용하되, 외부공기의 통로가 되는 공기 유입관 입, 출구 및 중간부에 각각 다른 압력차가 생성되게 한 구조를 채택하고, 흡, 배기 팬 중에서 배기팬 1개만을 이용한 채, 그것의 위치 변경을 통하여 시험을 행함으로써, 산업용 건축물 내의 자동제어반에 대한 냉각효율 향상 및 에너지 절감에 대하여 조사해 보고자 한다.

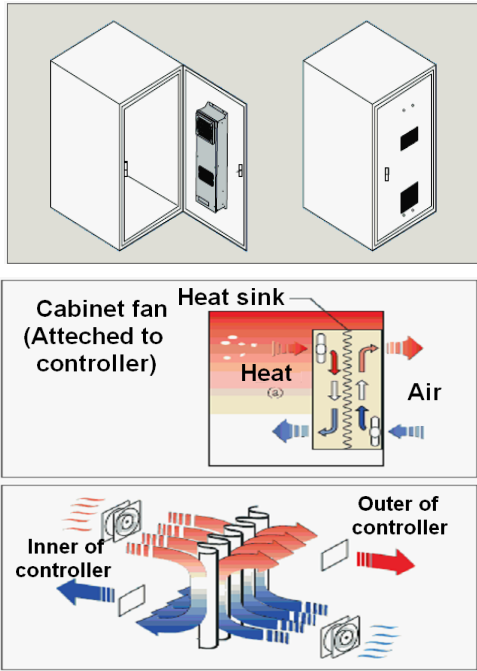
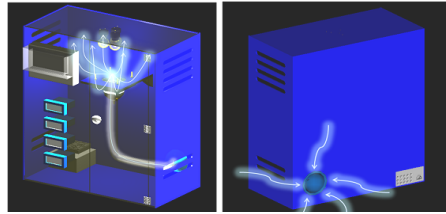


Fig. 1 Heat exchanger for the cabinet of automatic controller by the forced air cooling method

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

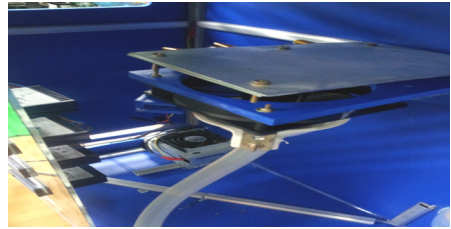
본 연구에서는 Fig. 2에서와 같이, 산업현장에서 활용하고 있는 소형제어반과 동일한 체적을 갖는 실험 장치를 구성하여 시험하였다.



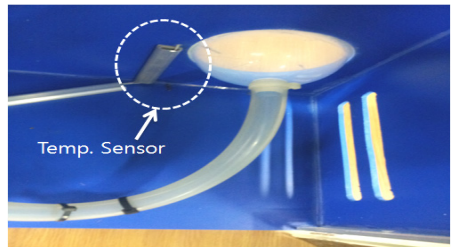
(a) External structure of experimental equipment



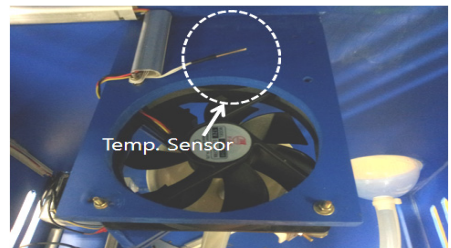
(b) Internal structure of experimental equipment



(c) Detailed view of heat sink



(d) Inlet part diagram of outer air



(e) Exhaust part diagram of outer air

Fig. 2 Structure diagrams of experimental equipments

즉, Fig. 2(a)는 실험장치 전체의 외부구조를 나타낸 것이며, Fig. 2(b)는 내부구조를 나타냈으며 발열원으로는 일정 온도를 발열할 수 있는 반도체 소자인 PTC (발열범위 145℃~155℃, 4개)를 이용한 방열판[Fig. 2(c)]을 전체 구조의 2/3지점에 장착하였으며, 다음으로 온도측정을 위해 PT 100Ω센서 (허용오차 ±0.04℃)를 활용하여 방열판의 외기 흡입구 및 배기구, 자동제어반 내부의 상부 및 하부를 측정하도록 장치하였다. 여기서, 외기를 이용한 후, 온도분포 확인을 위해 팬을 완전 제거한 후 예비시험을 한 결과, 10분 경과 시 외기 흡입구의 온도는 21℃, 배기구(발열부위) 온도는 평균 134℃, 자동제어반 내부의 상부온도 36℃, 하부온도 27℃ 등으로 측정되었다. 예비시험 후, 본 연구를 위한 실험 장치는 Fig. 2(c)의 방열판, Fig. 2(d)의 외부공기 흡입구, Fig. 2(e)의 외부공기 배기구의 그림들에서 나타난 바와 같이, 외기를 이용하되, 공기통로가 되는 공기 유입관을 압력차가 생성되도록 장치하였으며, 특히, Fig. 2(d)에서와 같이, 유출관의 입구 구조는 유속의 원활함과 압력차가 잘 이루어지게 설치하였다. 아울러, 냉각에 사용되는 팬은 Table 2에서와 같이 일반적으로 산업용 건축물 내의 자동제어반에 활용되는 냉각팬 중에서 최저 소비전력과 유사한 사양으로 하였고, 기종은 Table 3과 같은 기종(120 X 120 X 38mm)으로 선정하였다. 그리고 Fig. 3은 실험장치의 외부공기 흐름에 대한 개략도를 나타낸 것으로서, 일반적으로 단면적이 다른 관내의 유체흐름은, 식(1)과 (2)에서와 같이 항상 전압(total pressure, P_T)은 정압(static pressure, P_s)과 동압(dynamic pressure, P_d)의 합이며, 그 값은 일정하다.

Table 2 Fan size and it's consumption electric power

Size	Consumption electric power
120φ	About 20W
140φ	About 40W
150φ	About 55W
180φ	About 55W

Table 3 DC Specification of cooling fan

Items	Specification	
Model	D12038V12SH-03	
Rated voltage(V)	12	
Rated current(A)	1.8	
Input power(W)	21.6	
Speed(RPM)	3400	
Air flow	CFM	168
	m^3/min	4.76

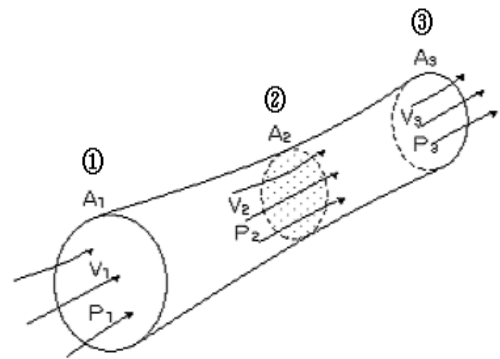


Fig. 3 Flow diagram of outer air in experimental equipments

$$P_T = P_s + P_d = const \quad (1)$$

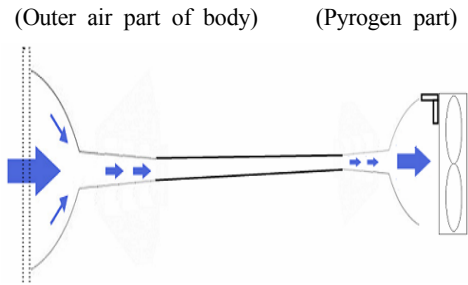
$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_1 V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_2 V_2^2 = const \quad (2)$$

따라서, Fig. 3에서 정압 P_{s1} , P_{s2} , P_{s3} 의 측정결과는 $P_{s1} > P_{s3} > P_{s2}$ 와 같다. 즉, 단면적이 클수록 압력은 작다. 특히, 위 식에서 밀도의 영향을 고려하지 않을 경우, Fig. 3의 ②에서 압력이 감소하면 속도가 증가해야 하며, ③의 위치에서는 압력이 다시 올라가고 속도는 감소해야 할 것이다. 이와 같이 본 실험에서는 단면적이 다른 관 (벤츄리관 등)을 흐르는 공기는 속도가 증가하면 압력이 감소하고, 속도가 감소하면 압력이 증가하는 베르누이의 원리^{9~12)}를 이용하였다.

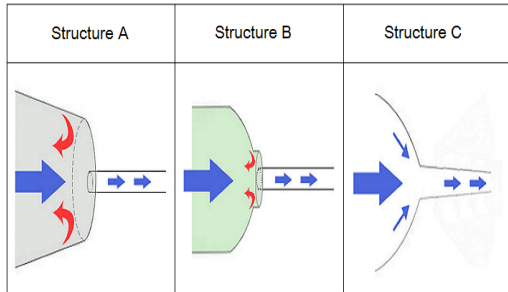
2.2 실험방법

2.2.1 외기 유입관 설정과 제작

우선적으로 Fig. 2(d)의 외기 유입관 입구 구조는 Fig. 4(b)의 구조 C를 선택하여 압력차가 잘 이루어지게 하였을 뿐만 아니라, 유체흐름의 방해성분을 최소화하기 위해 노력하였으며, 그 직경은 일반적인 산업용 자동제어반 냉각팬의 직경과 유사한 외기쪽 130Φ, 발열부쪽 95Φ로 결정하였다.



(a) Outline diagram in an air inflow tube



(b) Entrance structure in an air inflow tube

Fig. 4 Structure diagrams of an air inflow tube

아울러, 외기 유입관의 중간 연결소재는 내열성 및 내한성이 우수 (-80℃ ~ +250℃)하며, 탄성과 내압성 및 내후성이 우수한 반영구적 실리콘 호스를 선정하였다. 또한, 이러한 실리콘 호스의 적합한 길이 및 직경의 선택을 위해서 먼저 실리콘 호스 직경을 내경 16Φ, 18Φ, 20Φ, 25Φ별로, 80cm로부터 길이를 1cm 단위로 짧게 하면서, 각각의 길이마다 측정된 온도를 평균한 결과, 가장 적은 온도 편차를 보였던 68cm, 18Φ로 선정하였으며, 시험기간 내내 온도측정에 더욱더 정확성을 기하기 위하

여, Fig. 5와 같은 MBL(Microcomputer Based Laboratory)을 이용하였다. 그리고, 본 실험에서는 냉각팬 부착면의 맥놀이 현상으로 인한 소음과 유체흐름의 방해성분을 차단하기 위하여 Fig. 6에서와 같이 냉각팬과 공기 유입관 사이에 일정 길이의 고정핀을 부착하였다.

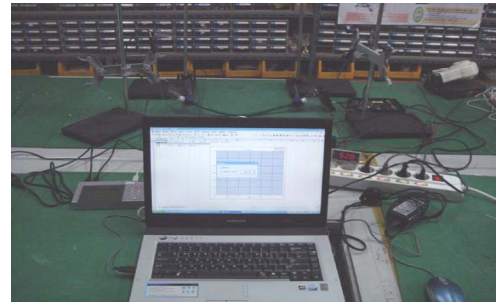


Fig. 5 Systematic diagram of MBL

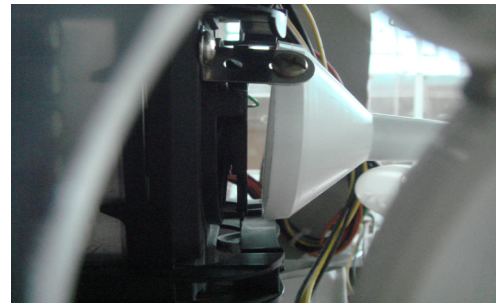


Fig. 6 Preventive equipment of modulation phenomena

2.2.2 공기 유입관 온도 측정

공기 유입관 선정을 위한 모의 온도 측정 시험으로는, Fig. 4(a)에서처럼 발열부를 표시하였으며, 외기 배기구 시험온도를 고온으로 유지하기 위하여 전열제품을 이용하여 발열부를 가열하였다. 그리고 온도변화에 대한 편차가 거의 없는 범위에서 발열부 냉각팬에 전원을 공급, 구동함으로써 시험하였다. 아울러, 외부공기 온도는 약 25℃를 유지하였으며, 외기부와 발열부 사이에 열원 교란현상이 발생되지 않게 단열 처리한 후, 외기부와 발열부에 대하여 PT 센서를 활용하여 MBL 온도를 측정하였다. 총 측정시간은 발열부의 온도 강하가

발생되지 않을 정도인 15분 간격으로 하였으며, 측정방법은 실리콘 호스 각 직경별 길이 편차를 1cm단위로 하였으며, 또한, 각각의 규격에 대해 1초 단위로 20회 측정하여 그 평균값을 취하였다. 아울러, 매회 측정 시 환기를 시켜 발열부 온도를 외기부와 동일하게 낮추고 적정 온도가 되었을 시, 재 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 PTC 소자의 발열원 적합여부 판단 시험

본 시험에서는 Fig. 2(b)의 장치를 이용하여 3단계에 걸쳐 온도분포를 시험하였다. 시험내용으로는 팬 전원스위치를 별도로 하여, 우선적으로 본 시험의 발열원으로 활용할 PTC 소자에 대한 발열원으로서의 적합여부 판단시험, 다음으로는 산업 현장에서 활용하고 있는 제어반의 상태와 유사한 조건을 갖추기 위해, 발열원(PTC 소자)이 가열된 상태에서 냉각팬 가동 후 시험, 마지막으로 발열원과 냉각팬을 자연냉각의 초기화 상태로 한 후, 발열원을 가열함과 동시에 냉각팬 가동 후의 시험 등, 3단계로 구분, 시험하였다. 그리고, 각 측정값은, 각 시험단계마다 온도분포를 자연냉각의 초기상태로 한 후, 재시험하여 통상 분포의 평균값으로 하였으며, 각 시험단계마다 10분 경과 시, 온도변화가 미미하였기 때문에, 10분을 측정 시간 단위로 활용하였다. 이와 같은 시험내용으로 한 1단계 시험의 결과를 Table 4 및 Fig. 7에 나타내었는데, 즉, 자동제어반 내부의 상부온도는 발열의 영향으로 평균 약 28℃가 나타났으며, 실험시작 후 최초온도 측정값(최초값)과 최종온도 측정값(최종값)의 차이는 약 18℃의 차이가 났다. 그리고 하부온도는 평균 약 25.67℃로서, 최초값과 최종값의 온도차는 7℃였으며, 외기가 유입되는 흡기부 온도는 평균 약 20.43℃로, 그 차이는 약 1℃로 나타났다. 이에 비해, 배기부 온도는 평균 약 100.71℃로 나타났으며, 그 온도 차이는 약 107℃가 되는 것으로 확인되었다. 이러한 결과로 보아, 본 시험의 발열원으로 이용한 PTC 소자(약 40W)는 산업용 자동 제어반의 발열원 상태의 조건과 유사한

발열상태를 나타낸 결과로 판단할 수 있었으며, 특히, 발열원이 있는 배기부의 온도가 너무 높게 나타남으로써, 이는 현재 컴퓨터 구조로 제어하고 있는 산업용 제어기기에 심각한 오류를 발생시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 4 Temperature distribution in case of a simple heating treatment

Items	Upper temp. (°C)	Lower temp. (°C)	Inlet part temp. (°C)	Exhaust part temp. (°C)
Average values	28.00	25.67	20.43	100.71
Difference between first and final values	18	7	1	107

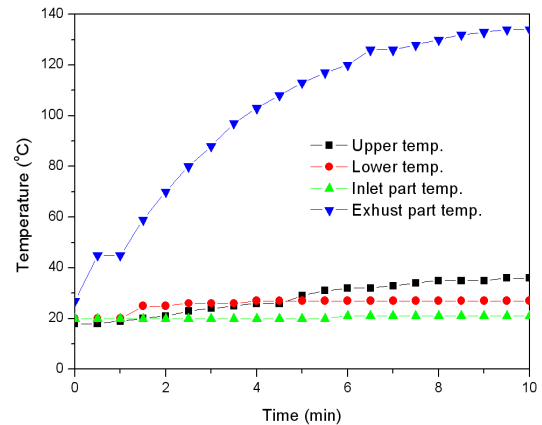


Fig. 7 Temperature distribution diagram in case of a simple heating treatment

3.2 냉각시스템 작동 시 온도분포 시험

본 연구의 2단계시험으로, 산업현장에서 활용하고 있는 제어반의 상태와 유사한 조건을 갖추기 위해, 발열원(PTC 소자)을 충분히 가열한 상태에서 냉각팬(배기팬 1개)만을 가동시켜 시험한 결과를 Table 5 및 Fig. 8에 나타내었다.

Table 5 Temperature distribution in case of operating of a cooling system

Items	Upper temp. (°C)	Lower temp. (°C)	Inlet part temp. (°C)	Exhaust part temp. (°C)
Average values	32.52	24.14	21.05	62.43
Difference between first and final values	- 4	5	0	-77

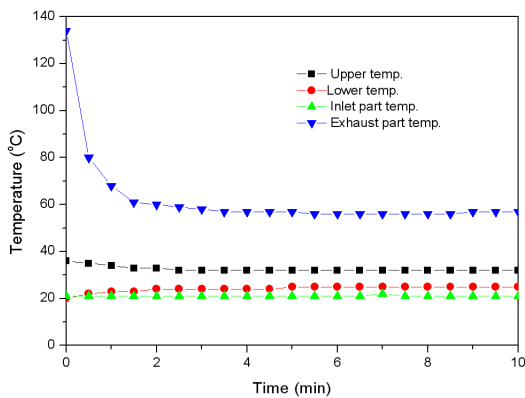


Fig. 8 Temperature distribution diagram in case of operating of a cooling system

자동제어반 내부의 상부 온도는 냉각의 영향으로 평균 약 32.52°C로 나타났고, 그 최초값과 최종값의 차이는 약 -4°C의 차이가 났으며, 하부온도는 평균 약 24.14°C로서, 그 온도차는 5°C 정도였으나, 외기가 유입되는 흡기부 온도의 경우는 평균 약 21.05°C로서, 그 최초값과 최종값은 차이가 없었다. 그리고 발열원이 있는 배기부 온도는 평균 약 62.43°C로서, 온도 차이는 약 -77°C로 나타났다. 이로 보아, 외기 유입관을 이용한 냉각방식 시험의 경우, 발열원의 온도를 급격하게 낮추면서, 이를 일정온도로 계속 유지할 수 있다는 것을 확인할 수 있었는데, 일반적인 컴퓨터 CPU의 활용온도가 약 65°C인 점을 감안할 때 극히 정상적인 온도분포로 판단되었다. 특히 온도센서가 발열원과 약 2cm 정도 떨어져 있는 점을 감안할 경우, 그 냉각

능력은 우수하다고 사료된다.

3.3 발열원 가열 및 냉각시스템 동시 작동 시 온도 측정 시험

본 연구의 마지막 단계 시험으로, 발열원과 냉각팬을 자연냉각의 초기화 상태로 한 후, 발열원을 가열함과 동시에 냉각시스템(배기팬 1개) 가동 후의 시험 결과를 Table 6 및 Fig. 9에 나타내었다.

Table 6 Temperature distribution in case of operating of heating and cooling systems

Items	Upper temp. (°C)	Lower temp. (°C)	Inlet part temp. (°C)	Exhaust part temp. (°C)
Average values	28.57	23.38	19.00	36.14
Difference between first and final values	-11	4	0	-19

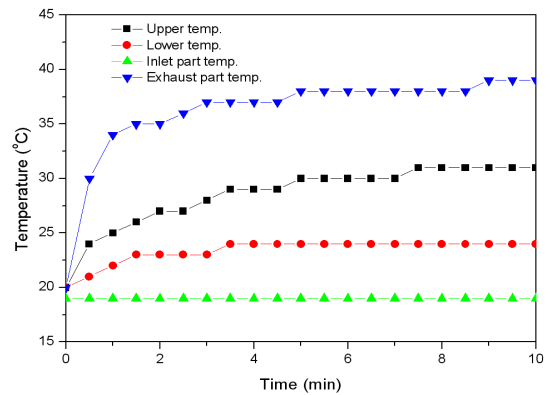


Fig. 9 Temperature distribution diagram in case of operating of heating and cooling systems

즉, 자동제어반 내부의 상부온도는 냉각의 영향으로 평균 약 28.57°C로 나타났으며, 그 최초값과 최종값의 차이는 약 -11°C로 나타났고, 하부온도는 평균 약 23.38°C, 온도차는 4°C 정도로 나타났다. 특히, 외기가 유입되는 흡기부 온도는 평균 약 19.00°C로서, 최소값과 최종값은 거의 변화가 없었

으며, 특히, 발열원이 있는 배기부 온도는 평균 약 36.14℃로서 온도 차는 약 -19℃가 나타났다. 이러한 시험결과로 보아, 본 시험의 경우와 같은 외기 유입관을 이용한 냉각방식의 경우, 발열원의 온도를 급격하게 낮추어 주면서, 이를 일정온도로 계속 유지할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 특히 상용 산업용 자동제어반의 배기부 발열온도가 상시 평균 45℃인 점과 냉각팬의 2중 구조인 점등을 감안 할 경우, 본 연구에서는 냉각팬을 외기흡입 냉각팬 1개만을 이용하였음에도 발열원의 배기구 온도가 36.14℃로 나타난 결과로 보아, 본 연구의 경우가 기존의 강제 공냉 통기시스템의 경우에 비해 자동제어반의 냉각효율 향상 및 에너지 절약에 기여할 수 있을 것으로 판단되어졌다.

4. 결론

건설, 기계, 전기전자 산업체 등의 산업용 건축물 내 자동제어반에 대하여, 외부공기를 이용하되, 그 통로가 되는 공기 유입관을 압력차가 생성되게 한 구조를 채택하고, 외기흡입 냉각팬 1개만을 이용한 상태에서, 산업용 제어반 냉각시스템의 효율 향상에 대하여 시험해 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) PTC 소자에 대한 발열원으로서의 적합여부 판단시험의 경우, 자동제어반 내부의 상부온도는 평균 약 28℃, 하부온도는 평균 약 25.67℃, 온도 차는 7℃정도로 나타났으며, 발열원이 있는 배기부 온도는 평균 약 100.71℃를 나타냄으로써, 현재 운용되고 있는 산업용 자동 제어반의 발열원의 경우에 적합한 발열원임을 확인할 수 있었다.

2) 산업현장에서 활용하고 있는 제어반의 상태와 유사한 조건으로 한 상태인, 발열원(PTC 소자)을 일정시간 발열 후, 외기 유입관에 냉각팬을 작동시켜 시험한 경우, 상부온도는 평균 약 32.52℃, 하부 온도 평균 약 24.14℃, 발열원이 있는 배기부 온도는 평균 약 62.43℃로 나타났다.

3) 자연냉각 후 초기화상태에서 발열과 냉각을 동시에 시행한 외기 유입관 냉각방식의 경우는, 상부온도 평균 약 28.57℃, 하부온도 평균 약

23.38℃, 발열원이 있는 배기부 온도는 평균 약 36.14℃를 나타내었다.

상기와 같은 결과로 보아, 본 시험을 위해 적용된 자동제어반 냉각방식의 경우가, 기존의 강제 공냉 방식의 경우에 비해, 산업용 건축물 내 자동제어반의 냉각효율 향상 및 에너지절감 효과를 가져 올 수 있을 것으로 사료되었다.

References

1. J. H. Park, 2003, "Computer Simulation on the Correlations between the Microwave Quality factor and the Pores inside the Dielectrics", Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 16, No. 4, p.311.
2. B. J. Oh and I. S. Lee, 2008, "Basic of Information Technology", Woongbo Publisher.
3. H. N. Lee, K. M. Park and H. B. Jung, 2007, "A Study on the Flow Characteristics of Desktop Personal Computer by In · Out Fan", The Korean Society of Marine Engineering, Vol. 31, No. 6.
4. W. C. Park et al, 2000, "Basic of Computer", Sangneung Publisher.
5. S. I. Won, 2003, "Freezing Engineering", Bosunggak.
6. H. K. Oh, 1991, "Handbook of Freezing Technology", Hanmi Publisher.
7. J. H. Park, D. H. Jung and J. T., 2006, "Dynamic Analysis of a Pipe Conveying Fluid by Using Finite Element Method", The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Proceeding of Spring Conference, Vol. 20, p. 6.
8. S. Sankha et al., 2006, "Response Time Measurement in Flow Induced Signal Generation on Semiconductors", Whole Text.
9. P. G. Hewitt, 2004, "Bernoulli's Principle Understanding Bernoulli's Principle as It Applies to Aerodynamic lift", National Science Teachers Association, Vol. 71, No. 7, pp. 51-55.

10. S. Davis, J.O. Gray and D.G. Caldwell, 2008, "An End Effector Based on the Bernoulli Principle for Handling Sliced Fruit and Vegetables", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 24, No. 2, pp. 249-257.
11. L. Stromberg, 2007, "Formations of Matter, Light and Sound Described with Bernoulli's Principle", *Aip Conference Proceeding*, Vol. 907, No. A, pp. 53-58.
12. S. H. Kim and M. H. Kim, 2009, "A Primary Study on the Enhancement of Efficiency in the Computer Cooling System Using Entrance Tube of Outer Air", *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, Vol. 13, No. 5, p. 58.