

대류 난방시 드래프트 방지를 위한 온열쾌적감에 관한 연구

이재권 · 김동규 · 김종수*
호원대학교(교수) · *부경대학교(교수)

A Study on Thermal Comfort to Prevent draft during Convection Heating

Jai-Kwon LEE · Dong-Gyu KIM · Jong-Soo KUM*
Howon University(professor) · *Pukyong National University(professor)

Abstract

There are six major elements of the thermal environment: temperature, humidity, airflow, radiation, clothing amount, and metabolic rate. Among them, the airflow has a large effect on the human feeling of TSV and CSV because it is in direct contact with the human skin in many cases. Draft is a term commonly used to indicate the effect of airflow, and refers to the undesirable local cooling effect on the human body by the airflow. Draft is one of the factors causing thermal dissatisfaction among occupants in buildings, automobiles, trains, and airplanes that are ventilated or air-conditioned. In this study, experiment was conducted on the effect of the indoor set temperature and the airflow speed on the thermal comfort during heating in winter, and the effect of the difference between the set temperature and the airflow speed on the psychological responses of the human body was analyzed by analyzing the results. The conclusion of this study is as follows. (1) It was found that the MST, TSV and CSV all showed a greater range of change under the airflow condition than under the condition where the set temperature was maintained. (2) Considering the set airflow speed and temperature conditions, discomfort and coolness were reported in terms of CSV and TSV, which are subjective psychological responses in the low-temperature region, when the airflow speed was 0.75m/s or more. (3) The sense of airflow due to the airflow velocity generated at the time of generation of airflow had a significant effect on the human body in the low-temperature region as the temperature was low and the airflow velocity increased. In this study, the limit value was found to be 0.25m/s.

Key words : TSV, CSV, MST, Draft, Air flow

I. 서론

드래프트(Draft)는 기류의 영향을 나타낼 때 보통 사용하는 용어로 인체가 기류에 의해 원하지 않는 국부적인 냉각효과를 받는 것을 말한다(ASHRAE, 2009). 드래프트는 공조가 되는 건물 등에서 실내 거주자들의 열적 불쾌감을 유발하는

여러 요인 중의 하나로 공조공간에서는 빠른 속도의 기류가 드래프트를 유발한다. 인체의 열적 쾌적감은 주변 공기온도, 상대습도, 기류속도, 복사온도 등의 물리적 변수와 대사량, 착의량 등의 개인적 변수에 영향을 받는다. 관련 연구에 의하면 이 중 기류속도는 공기 시스템에서 온도와 더불어 거주자의 열적 쾌적에 매우 큰 영향을 발생

† Corresponding author : 051-629-6178, jskum@pknu.ac.kr

* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2021년)에 의해 연구되었으며, 제1저자 이재권과 산학협력 내용을 일부 수정·보완하였음

시키고, 경우에 따라 거주자 불쾌적의 주요 원인이 될 수도 있다(Lee et al. 2021, Moon et al, 2014, 2016, Shin et al, 2002).

냉난방 및 환기 시 실내공기를 확산시키는 목적은 공조대상이 되는 실의 적절한 온도, 습도 및 기류의 적절한 조화를 만들어내기 위한 것이다. 이때 인체에 대한 불쾌한 냉감을 주는 기류를 콜드 드래프트 또는 줄여서 드래프트라고 한다. 드래프트 현상은 겨울철에 있어서 창문의 틈새로 틈새바람이 유입할 때와 같이 실온보다 훨씬 낮은 온도의 기류에 인체가 노출될 때, 낮은 온도의 실내에서 선풍기 바람을 맞는 것과 같이 실내 거주 범위의 평균 기류보다도 고속의 기류에 인체가 노출될 때 일어나는 현상이다. 인체가 느끼는 냉감은 체내의 열생산, 즉 신진대사보다도 인체로부터의 열 손실이 클 때에 생긴다. 인체로부터의 열 손실은 인체 주위의 공기온도가 낮을 때, 공기속도가 클 때, 습도가 낮을 때, 벽의 온도가 낮을 때 발생한다. 따라서 실내의 거주 범위에서 기류속도는 온열조건을 일정하게 하면 정해진 범위 내에 있어야 한다. 이와 같은 기준은 물론 실내 거주자의 활동 상황에 따라 다르다. ASHRAE에서는 착석해서 업무를 보고 있는 상태의 거주자에 대한 실내기류 풍속의 표준으로 0.075~0.20m/s의 값을 제시하고 있다(ASHRAE, 2009). 인간은 작업 활동에 따라 체내에서 열을 생산함과 동시에 열을 외부환경으로 방산하게 되는데, 전신 온냉감이 중립에 있다하더라도 불균일 복사, 드래프트, 불균일한 상하온도분포, 불균일한 바닥온도 등과 같은 원인에 의하여 국부 온냉감에 의한 불쾌가 존재하면 쾌적한 상태로 되지 않는다. 따라서 본 연구에서는 겨울철 대류 난방시 실내 설정온도 및 취출 기류속도가 온열 쾌적감에 미치는 영향에 대한 체감실험을 수행하고 결과를 분석하여 설정온도 및 취출 기류속도 차이가 인체의 심리반응에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 공조기 제어 알고리즘 개발을 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 측정요소 및 측정장비

인공 환경실험실 환경요소로서 온도 및 기류의 균일성을 파악하기 위해 온도는 바닥으로부터 0.1m, 0.6m, 1.1m의 높이에서 C-C열전대를 사용하여 측정하였으며, 기류속도는 피험자 정면 0.3m지점에서 초음파 풍속계를 사용하여 측정하였다. 인체측 측정요소로서 피험자의 피부온도는 인체용 C-C열전대를 의료용 통기 테이프(Beisesdorf AG)를 이용하여 피부표면에 부착하였으며, 이마, 상박, 손등, 복부, 대퇴부, 하퇴부, 발등에서 측정하여 평균피부온도를 산출하였다. [Fig. 1]에 실험에 참여한 피험자의 모습을 나타냈다. 실험에서 측정된 모든 데이터는 데이터 기록계를 통해 PC로 저장되는 시스템을 구성하여 저장하였다. 실험 중 피험자의 심리상태를 파악하기 위하여 본실험 입실 후 10분 간격으로 온도 및 기류에 대한 쾌적감(CSV), 온냉감(TSV) 신호를 받아서 분석하였다. <Table 1, 2>에 측정요소별 측정위치, 주관설문에 대한 심리반응 척도를 나타냈다.



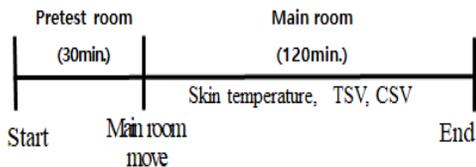
[Fig. 1] Subjects participating in the experiment.

2. 실험순서

[Fig. 2]는 실험순서와 측정 데이터 종류를 나타낸 것이다. 실험환경은 겨울철 외부기상환경의 영향을 반영하기 위하여 전실은 건구온도 1.5℃~

<Table 1> Measurement Factor and Measurement Position

Measurement Factor		Measurement Position
Human body	Skin temperature	Forehead, Forearm, Back of the hand, Abdomen, Upper things, Lower things, Foot
Environment	Indoor temperature Measurement	Upside human's head (0.3m)
	Indoor temperature record	From floor 0.1m, 0.6m, 1.1m
	Air velocity	Upside human's head (0.3m)



[Fig 2] Experiment sequence and items.

<Table 2> TSV and CSV Scales

	TSV	CSV
-3	cold	very uncomfortable
-2	cool	discomfortable
-1	slightly cool	slightly discomfortable
0	neutral	neutral
1	slightly warm	slightly comfortable
2	warm	comfortable
3	hot	very comfortable

<Table 3> Experiment setting conditions

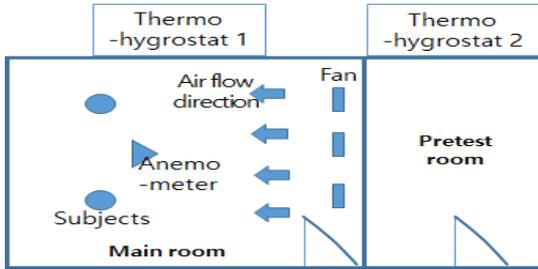
Item	Temp.[°C]	RH[%]	Air Velocity[m/s]
Pretest Room	1.5 ~ 4.5°C	20 ~ 40%	-
Main Room	20±0.5°C	50±5%	1.25
	22±0.5°C		
	24±0.5°C		
	25±0.5°C		
	26±0.5°C		

4.5°C, 상대습도 20%~40%로 유지하였고 실험에 앞서 1시간 정도의 예비운전을 하여 전실험을 균일한 상태로 조성한 후 실험을 수행하였다. 본실험은

20°C, 22°C, 24°C, 25°C, 26°C의 설정조건으로 운전하였으며, 피험자는 무감 기류상태(Fan off)에서 60분을 체재 한 후, 이후 일정 기류속도가 제공되는 상태에서 추가적으로 60분을 체재하였다. 기류는 피험자가 체재하고 있는 전체공간을 하나의 터널 형태로 층류가 구성되도록 하여 인체의 각 부분에서 접촉되는 기류속도를 균일하도록 구성하였다. 실험이 진행되는 동안 기류상태를 2인의 피험자 가운데 초음파 풍속계를 위치하여 측정함으로써 운전의 안정성을 확인하였다. 기류속도는 강풍(1.25m/s), 중풍(0.75m/s), 약풍 (0.25m/s)으로 제어하였으며, 기류방향은 [Fig. 1, 3]과 같이 피험자가 의자에 착석 시 정면풍이 되도록 조절하였다. 환경실험실의 온습도 및 기류 조건은 <Table 3>과 같다. 다만, 저온인 20°C 조건의 경우에는 0.25m/s조건, 고온인 26°C조건은 0.75, 1.25m/s조건 만을 대상으로 하였다.

3. 실험방법

실험 설정조건의 온습도 및 기류를 조성하여 실험을 수행하기 위해서 [Fig. 3]과 같이 전실험 및 본실험으로 구성된 향온향습실을 사용하였다. 향온향습실의 전실험과 본실험은 실험별로 개별제어가 가능하게 설계되어 있어 전실험은 겨울철 외기조건으로 설정하였으며, 본실험은 난방시 설정온도를 유지하도록 제어하면서 실험을 수행하였다. 실험 참가자는 <Table 4>와 같이 건강한 남자 대학생 6명을 피험자로 실험 전 체온, 혈압, 맥박을 측정하여



[Fig. 3] Schematic of experimental device.

<Table 4> Subject information participating in the experiment

No.	Age	Height[cm]	Weight[kg]	Body surface area[m ²]	PI [kg ^{0.33} /m]
6	25.8 ±2.04	170.8 ±5.31	60.2 ±5.92	1.69 ±0.89	2.26 ±0.09

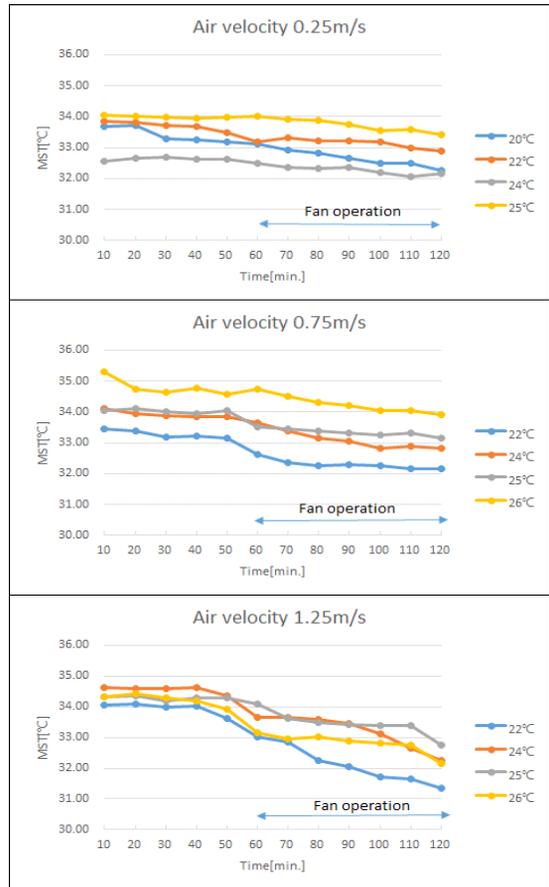
※Body surface area = $71.46 \times \text{Weight}^{0.425} \times \text{Height}^{0.725}$

건강상태를 확인한 후 실험을 실시하였다. 피험자의 착의 상태에 따른 착의량은 중량법으로 산출한 결과 0.65clo로 계산되었다. 참가한 피험자 모두에게 실험에 대한 개요를 설명하고 실험에 대한 동의를 받고 난 후 실험을 수행하였다.

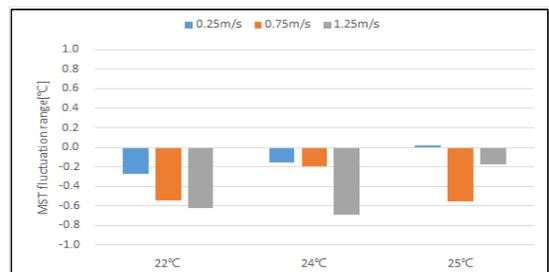
Ⅲ. 연구 결과

[Fig. 4]는 설정온도 및 기류속도 조건에 따른 평균피부온도(MST)의 경시변화를 나타낸 것이고, [Fig. 5]은 실험 도중 팬이 가동되어 피험자에게 설정기류를 제공하는 시점 전후(50, 60분)의 평균 피부온도 변화폭을 나타낸 것이다. 본실 설정조건은 입실 후 60분간은 기류가 없는 상태로 설정 온도만 유지되는 조건이었고, 이후 팬이 가동되면서 연속해서 60분간 설정 풍속과 온도를 유지하는 조건이었다. 평균피부온도의 전체적인 경향은 설정온도가 유지되는 조건에서는 평균피부온도가 어느 정도 유지되며 온도하강이 미미함을 나타냈고, 팬이 가동되면서 피험자가 설정기류속도에 노출되는 시점에서는 평균피부온도가 하강

하는 모습을 나타내었고, 동일한 설정온도에서 기류속도가 증가할수록 하강 기울기가 크게 나타났다. 또한 저온 영역이 고온영역보다 하강 경향이 뚜렷하였지만, 통계적인 유의차는 없었다.



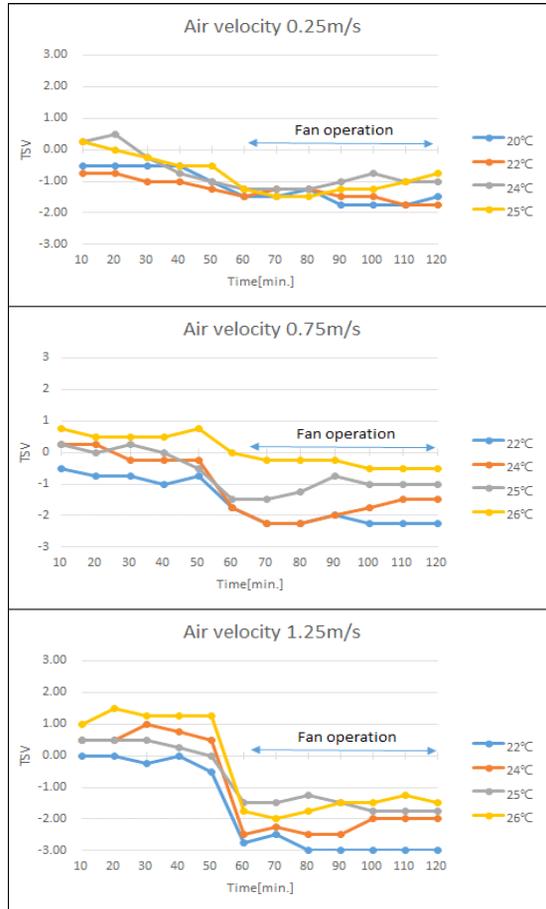
[Fig. 4] Relationship between MST time series and room temperature at set air velocity.



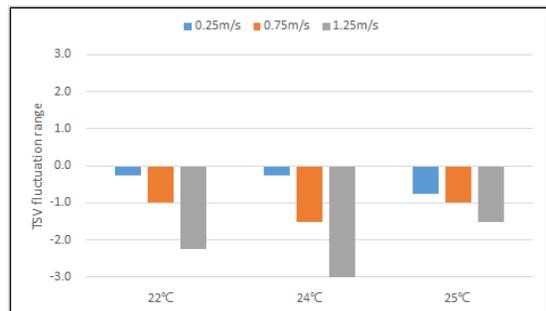
[Fig. 5] MST change when airflow is provided(N.S).

[Fig. 6]은 기류속도 조건에 따른 설정온도별 온냉감(TSV)의 경시변화를 나타낸 것이다. 온냉감의 경시변화 경향 역시 기류를 느끼지 못한 조건(60분까지)인 설정온도만을 유지하는 조건에서는 온냉감의 하강 기울기가 전반적으로 완만하지만 피험자에게 기류가 공급되는 즉, 팬이 가동되는 시간동안에는 기류속도가 증가할수록 온냉감의 하강 기울기가 크게 나타났다. 특히 기류속도가 1.2m/s의 조건에서는 전 실험설정 온도조건에서 온냉감의 하강폭이 상대적으로 크게 나타났다. [Fig. 7]는 설정온도별로 팬이 가동되는 시점에서 기류속도에 따른 온냉감 하강폭(50분에서 60분 사이) 비교한 것으로서 0.25m/s 조건은 온냉감에 많은 영향을 주지 않는 것으로 판단되지만, 0.75m/s 이상에서는 크게 영향을 받는 것으로 나타났다고, 온냉감의 경시변화와 경향이 일치하는 것으로 나타났지만, 통계적인 유의차는 없었다. [Fig. 8]은 기류속도별 설정온도에 따른 쾌적감의 경시변화를 나타낸 것이다. 쾌적감의 경시변화 경향도 온냉감의 경시변화와 유사한 경향을 나타내었다. 기류속도가 0.25m/s의 경우에는 실험시간 동안 전반적으로 ‘약간 쾌적’에서 ‘약간 불쾌’ 정도를 나타냈지만, 기류속도가 0.75m/s의 조건에서는 팬이 가동되는 시간동안 25℃, 24℃ 조건에서는 ‘약간 불쾌’에서 ‘불쾌’ 정도를 나타냈고, 상대적으로 고온영역인 26℃ 조건에서는 ‘쾌적하다’고 신고하였다. 기류속도 1.25m/s 조건에서는 22℃, 24℃ 조건은 ‘불쾌’에서 ‘매우불쾌’를 나타냈고, 반면에 25℃, 26℃ 조건은 ‘약간 불쾌’ 정도를 나타냈다. [Fig. 9]은 팬이 가동되는 시점 전후의 쾌적감 변화폭을 나타낸 것으로 각 설정온도별로 기류속도가 증가하는 경우 쾌적감의 하강폭이 클 수 있고, 설정온도 25℃ 조건에서는 변화폭이 비슷함을 알 수 있지만, 평균피부온도, 온냉감의 경우 같이 통계적인 유의차는 없었다. 온냉감과 비교할 때 저온영역(22℃, 24℃)에서는 경향이 유사하였지만, 상대적 고온영역인 25℃에서 온냉감은 기류속도가 증가할수록 변화폭이 비례하였

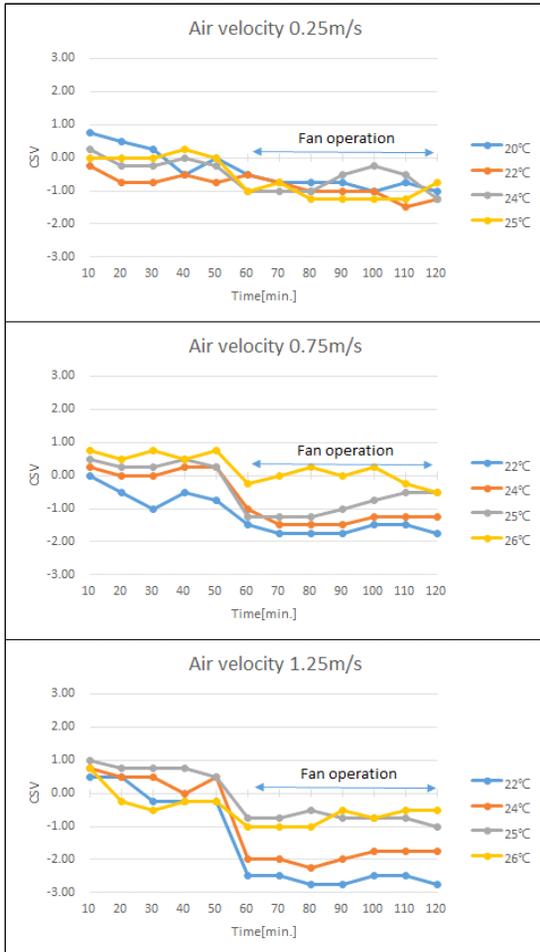
지만, 쾌적감의 변화폭은 서로 유사한 경향을 나타냈다.



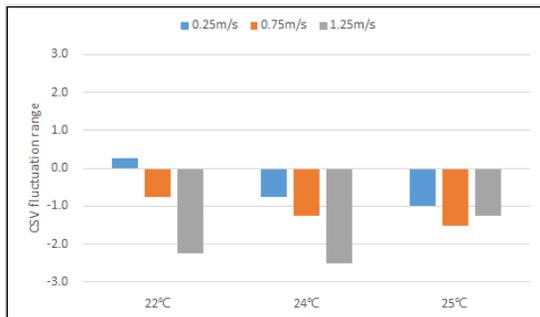
[Fig. 6] Relationship between TSV time series and room temperature at set air velocity.



[Fig. 7] TSV change when airflow is provided(N.S).



[Fig. 8] Relationship between CSV time series and room temperature at set air velocity.



[Fig. 9] CSV change when airflow is provided(N.S).

IV. 결론

(1)평균피부온도, 온냉감, 쾌적감 모두 설정온도가 유지되는 조건보다 기류가 제공되는 조건에서 변화폭이 크게 나타남을 알 수 있었다.

(2)설정 기류속도 및 온도조건을 고려할 때 기류속도가 0.75m/s 이상에서는 저온영역에서 주관 심리반응인 쾌적감과 온냉감 측면에서 불쾌함과 서늘함을 신고하였다.

(3)기류가 발생하는 시점에 발생하는 기류속도에 의한 기류감은 온도가 낮고, 기류속도가 증가할수록 저온영역에서 인체에 많은 영향을 주었고, 본 연구에서는 한계치가 0.25m/s로 나타났고, ASHRAE에서 제시하는 실내기류 풍속의 표준과 거의 일치함을 알 수 있다.

(4)기류에 노출 된 후 인체의 심리반응을 반영하는 주관신고값의 경시 변화가 부분적으로 일부 상승하는 부분은 인체가 제시된 환경조건에 순응함으로 인하여 나타난 것으로 판단되지만, 시간에 따른 인체 순응과 관련되어서 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

References

ASHRAE(2009). ASHRAE Handbook: Fundamentals, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, chapter 20.

Lee JK, Kim DG and Kum JS(2021). Research on Psychological and Physiological Reaction Evaluation According to Temperature and Airflow of Air Conditioning, The Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 33(2), 388~395.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2021.4.33.2.388>

Moon EJ, Li L, Jeong CH, Yeo MS and Kim KW(2014). Analysis on Thermal Comfort Related to Draft in Small and Medium-sized Building with Heat Pump HVAC System, Proceedings of the academic presentation of the Korean Institute of Architecture, ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA, 34(1), 189~190.

Moon EJ, Li L, Jeong CH, Yeo MS and Kim KW(2016). Characteristics of Occupants Comfort related to Draft during the Heating Operation in the Space with Packaged Terminal Heat Pump System, JOURNAL OF THE ARCHIECTURAL INSTITUTE OF KOREA Planning & Design, ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA, 32(4), 89~96.

https://doi.org/10.5659/JAIK_PD.2016.32.4.89

Shin BH, Kum JS, Ahn CR, Chung YH, Choi KH

and Onishi J(2002). A Study on the Thermal Comfort by the Diffusion Direction with Ceiling Type Air Conditioner in Winter, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering Summer Academic Conference, 1199~1204.

-
- Received : 23 February, 2022
 - Revised : 10 March, 2022
 - Accepted : 15 March, 2022