

지하도상가의 HVAC 구성방식에 따른 운전특성 연구

이 홍 철[†] · 황 인 주

한국건설기술연구원 화재 및 설비연구센터

An Experimental Study on the Operating Characteristics with HVAC Type of Shopping Center in Underground Passage

Hong-Cheol Lee[†], In-Ju Hwang

Fire & Engineering Services Research Center, Korea Institute of Construction Technology

ABSTRACT: The shopping center in underground passage increased for efficient space utilization in urban area. This study describes operation characteristics of all air type and hybrid type with local ventilation and fan coil unit fixed to ceiling. In order to compare energy saving, thermal environment and installation space, etc., integrated simulator with heat production and indoor distribution system is designed and constructed. Energy saving of the hybrid system is calculated as over 30% compared to conventional all air type. And also the results showed that humidity decreased about 6%, also indoor thermal distribution is improved as temperature variation of around 1°C.

Key words: Shopping center in underground passage(지하도 상가), Thermal load(열부하), Ventilation(환기), Cooling and heating(냉난방), Local ventilation(국소환기)

기 호 설 명

H : 습도, RH%
T : 온도, °C
P : 소비전력, W
Q : 열량, kcal/h
Var : 분산
Stdev : 표준편차

RA : Return air
AHU : Air handling unit
FCU : Fan coil unit
store : 상가

하첨자

SA : Supply air
OA : Out air

[†] Corresponding author
Tel.: +82-31-369-0514; fax: +82-31-369-0540
E-mail address: hclee@kict.re.kr

1. 서 론

도시공간의 입체적 활용을 위한 방안으로 고층화와 지하화 등이 적용되고 있으며, 이에 따른 실내 공간의 건강성과 안전성이 중요한 문제로 제기되고 있다. 특히, 지하공간의 경우에는 지상 공간과 연결되는 부분이 입출구 뿐이며, 이에 따라 공기, 빛, 음, 안전 등의 확보가 중요한 설계인자이다.

대도시의 경우에 지하 철도시설과 연계하여 역사 주변의 상권을 연결하는 도시계획이 증가하고 있으며, 이에 따라 지하 역사나 광장과 연결되어

형성된 지하도 상가의 건설이나 활용이 증가하고 있다.

이러한 지하도 상가는 교통, 상업, 오락 등 다양한 기능을 단일 지역에서 해결할 수 있는 장점을 지니고 있으나, 지하공간이라는 측면과 불특정 다수가 이용하는 시설이라는 측면에서 공기의 오염과 유해가스의 축적 가능성이 큰 단점을 가지고 있다.¹⁾

국내의 경우 이러한 다중이용시설에 대한 관리규정을 강화하고 있으며, 특히 ‘다중이용시설의 실내공기질관리법’에서는 미세먼지, 이산화탄소, 포름알데히드, 총 부유세균, 일산화탄소 등에 관한 기준을 제정하여 관리하고 있다.⁵⁾

현재 국내에 설치되어 있는 지하도상가의 경우 대부분이 일정 기간 후 관련 지자체에 기부 채납되어지는 형태로 계획, 건설되고 있으며, 이에 따라 초기 투자비 등의 문제로 계획단계에서 최적의 HVAC 시스템이 고려되지 못하고 있는 실정이다. 또한 건축적인 측면에서도 시스템 설치를 위한 경로 및 공간 확보가 미흡한 실정으로 조사되었다.

이에 본 연구에서는 현재 지하도 상가에 적용되고 있는 전공기식 환기 및 냉난방시스템의 개선하기 위한 설계방안으로 환기 및 냉난방을 개별 유닛과 국소 환기방식을 결합한 시스템을 고려하였으며, 이를 위하여 지하도 상가의 제한된 천장공간에 설치 가능 여부와 더불어 에너지 소비특성이나 열환경 제어특성 등을 실험적으로 평가하였다.

2. 지하도상가의 구조 및 HVAC 시스템

2.1 지하도상가의 구조

지하도상가의 형태, 위치 및 입점 업체의 종류 등은 공조 및 환기계획을 수립함에 있어서 매우 중요한 요소이다.

이러한 지하도 상가는 건설장소에 따라 빌딩 지하, 지하 통행로, 역사 등과 연계된 지하상가로 구분되며, 사용용도에 따라 단순 통행 위주의 지하도 상가와 쇼핑물 위주의 지하도 상가로 구분할 수 있다. 또한 기하학적 형상에 따라 장방향, 교차형, 집중형 지하도 상가로 분류할 수 있으며, 이러한 분류는 실내 환경에 주요하게 작용하는



Fig. 1 The example of plane figure of underground shopping center

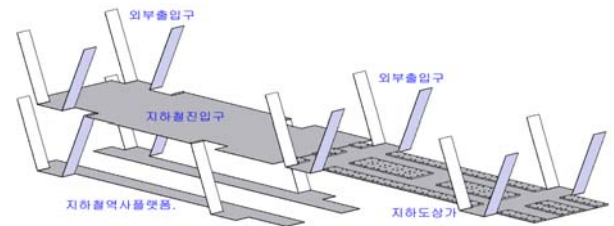


Fig. 2 Three dimensional view of subway station and underground shopping center.

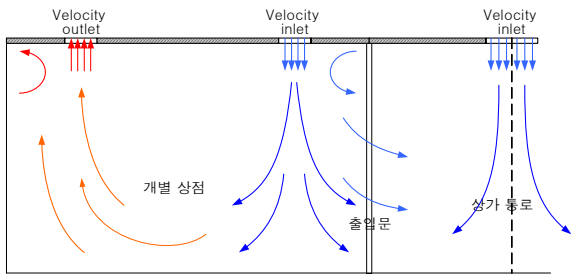
외부조건으로서 냉난방, 환기시스템의 설계에 기초적인 자료로 활용되어진다.

현재 국내에 위치하고 있는 대부분의 지하도 상가의 경우 도로 지하에 위치한 지하 통로 형태가 대부분이며, 일부의 경우 빌딩 지하상가 등과 연계되어 있다.

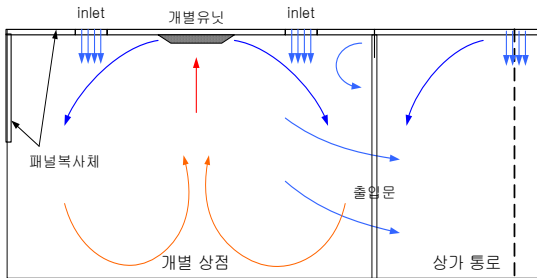
이러한 지하도 상가는 과밀화된 도심의 입체적 도시 공간 활용을 위하여 건설된 지하가 형태의 상가로서 지상 출입구를 제외하면 외부와 차단된 밀폐된 공간으로 쾌적한 실내 환경 조성 및 방재·안전성 확보가 무엇보다 중요하다.

본 연구에서는 국내 지하도 상가의 대표적 형태로서 지하철 역사와 연계된 장방향 지하도 상가를 대상으로 하였다. 보다 상세하게는 지하도와 상가가 혼합된 형태로서 도로면 지하에 설치되는 지리적 여건상 4열로 배치된 중복도형 지하도 상가를 대상으로 하였다.

Figure 1과 Fig. 2는 특정 지하도 상가의 구조를 개념적으로 도시한 것으로 지하철 역사와 지하상가는 지상(외부)과 출입계단으로 연계되어 있고, 지하철 역사가 지하상가에 종방향으로 연계되어 있다. 지하철 플랫폼은 지하 2층에 위치하고 있으며, 플랫폼을 통하여 진입, 진출하는 열차에서 발생하는 열차풍이 계단, 연계구를 통하여 유입될 수 있으며, 최근에 스크린도어가 설치되고 있는



(a) All air type



(b) Hybrid type

Fig. 3 HVAC concept for comparison.

역사와 지하도 상가에서는 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

2.2 지하도상가의 HVAC 시스템 비교

대부분 지하도상가의 경우에 Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 일정 풍량을 전공기 급기 방식에 의한 공조 방식을 채택하고 있으며, 개별 상가 취출구의 개도를 조절함으로써 실내 유입 급기의 양을 조절함으로써 적정량의 냉난방 및 환기를 취하고 있다.

또한 지하도상가의 공기질 유지를 위하여 전체 급기의 2/3 정도를 환기로 회수하고 1/3 정도를 배출함으로써 실내 오염 물질의 배출 및 외부 오염물질의 혼입이 일어나지 않도록 유도하고 있다.

중양 급기를 위한 기계실 냉난방 열원 방식으로 대부분의 지하도상가에서는 냉방위주의 터보 냉동기, 패키지형 냉동기를 이용한 냉방을 실시하고 있으며, 상대적으로 미비한 난방부하에 대해서는 전기 히터 등을 이용하고 있다.

지하도상가의 현장조사 결과 대부분의 지하도상가에서 입주민들에 의한 냉방 부족 민원이 발생하고 있으며, 천장 내 공간 대부분을 덕트가



Fig. 4 HVAC simulator for experiment.

점유하고 있음에도 불구하고 급기구 말단에서 급기 부족, 불균형 현상이 발생하고 있다. 또한 50 m 이상 장대 덕트의 설치와 덕트의 교차지점에서 덕트 단면의 축소설치, 각종 댐퍼의 설치 등으로 인하여 말단 급기구 적정 급기 온도를 확보하지 못하고 있는 실정이다.

반면에 Fig. 3(b)와 같은 방식의 경우에는 환기 시스템의 경우 국소방식을 채택하고 냉난방은 구역별 온도제어가 가능한 수배관 FCU 방식의 실내 유닛을 도입하였다. 이러한 방식은 지상공간에서 일부 적용되고 있으며, 본 연구에서는 지하도 상가를 위한 최적 설계에 중점을 두고 있다.

전공기식과 큰 차이점은 기존의 급배기 공조시스템을 축소하여 급기전용 또는 급배기 혼용으로 이용하여 실내 공기환경을 제어할 수 있으며, 전체 열부하 중 일부를 기저부하로 감당할 수 있도록 고려하였다.

또한 수배관 방식의 FCU 도입에 따라 감소되는 공기질 저하가 발생하지 않도록 실내 FCU에 필터링, 및 살균 등 추가적 기능을 적용하였다. 이러한 수배관식 유닛은 반송동력의 감소와 더불어 내부 기기발열, 조명발열의 증감에 따라 신속한 제어반응으로 효과적인 냉난방이 가능하다.

3. 실험장치 및 결과고찰

3.1 장치구성 및 실험방법

지하도상가 냉난방 및 환기시스템의 운전특성을 비교하고 평가하기 위하여 Fig. 4와 같이 시뮬레이터를 설계 및 설치하였다.

시뮬레이터의 구성은 크게 열원부와 실내 환기 및 냉난방부로 구분되며, 시뮬레이터 주요부에 온도, 습도, 유량, 풍량, 소비전력을 측정할 수 있는 센서 및 계측 시스템을 설치하였다.

먼저 열원부는 냉온수 생산유닛과 인버터 제어가 가능한 펌프, 공조유닛과 실내 천장유닛으로 냉온수를 분기하여 공급하는 비례제어식 3 way 밸브, 배관계통 등으로 구성된다. 펌프는 실내로 순환하는 냉온수의 귀환온도에 따라 총공급유량을 자동 조절할 수 있도록 인버터 및 제어알고리즘이 적용되었으며, 비례제어식 3 way 밸브는 실내 온도에 따라 국소환기용 공조유닛계통과 실내 천장유닛계통의 냉온수를 자동제어하는 기능을 적용하였다.

그리고 실내 환기 및 냉난방부는 국소환기용 공기의 온도와 습도, 신선외기 도입을 위한 소형 공조유닛과 덕트계통, 실내 천장에 설치되는 천장형 유닛으로 구성된다.

기존 전공기 AHU 방식의 공조시스템과 개선 방식으로 제시된 AHU 및 FCU 방식의 공조 시스템의 평가를 위하여 덕트 분기구에 MD를 설치하여 급기, 배기 전환하였다. 또한 기존 AHU 공조 방식의 도입외기, 급기, 환기, 배기량의 제어를 위하여 인버터 팬 및 개도 조절이 가능한 댐퍼를 설치하였다.

시스템 운전 중 실내 열환경 분포의 측정을 위하여 5×5 T-type 열전대 망을 구성하여 설치하였으며, 이를 통하여 실시간으로 내부 열부하에 따른 실내 열환경 분포를 측정하였다. 이는 시뮬레이터 내부 환경을 대표하는 배출구 주변 호흡선에 NTH-300C 온습도 센서를 설치하였다.

급배기 덕트에 HD2012T03 온습도 센서를 설치하여 급기 및 환기의 상태를 측정하였으며, 시스템 운전 중 T-type 열전대 및 GPI 유량계를 이용하여 지하도상가 내 에너지 공급/사용 특성 측정하였다.

시스템 운전 중 열원장치, 공조기, 냉난방유닛, 반송장치 등의 소비전력 측정을 위하여 G사에서 생산하고 있는 class 1급의 LD1210DR, LD3310CT, LD3410DR 소비전력계를 이용하여 소비전력을 측정하였다.

시스템 운전 중 모니터링 데이터의 경우 NI상서 공급하고 있는 NI-DAQ 6046 AD convertor 및 NI-SCXI signal conditioning device를 이용하여 5초 간격으로 측정였다.

3.2 결과 및 고찰

전공기방식과 국소환기 및 천장유닛형 냉난방을 결합한 복합방식 공조시스템에 대한 동일 조건에서 운전을 수행하였으며, 주요 결과 및 고찰을 아래와 같이 정리하였다.

먼저 기존 방식과 신규방식에 대한 비교기준을 설정하기 위하여 기존 전공기방식의 AHU 급기량에 따른 실내 에너지 공급 및 전력 소비 특성에 대한 검토를 실시하였으며, 결과를 Fig. 5에 도시하였다.

실험 기간 동안 외부 조건의 변화에 따라 급기구 주변 외기온도가 31.5~33.6℃의 범위에서 변화하고 있으나 실내 온도의 경우 25.5~26.5℃의 범위에서 비교적 일정하게 유지되고 있다.

이는 시뮬레이터 공조시스템의 경우 AHU에서 급기구까지 거리가 비교적 짧고 실험 중 정확한 T.A.B.의 실시에 의한 것으로 판단되어진다.

또한 상가별 급기량을 500, 700, 1,000 CMH 단계로 변화시켰으며, 이에 따라 시스템 냉방 용량은 800, 3,800, 7,000 kcal/hr로 선형 증가하는 경향을 보이고 이에 따른 소비전력 역시 1,020, 1,900, 3,390 W로 선형 증가하는 경향을 보였다.

현재 J 지하도상가의 급기 기준인 700 CMH 수준에서 3,600~3,800 kcal/h의 열량이 에너지가 제거되었으며, 이에 소요된 시스템 전력은 1,900

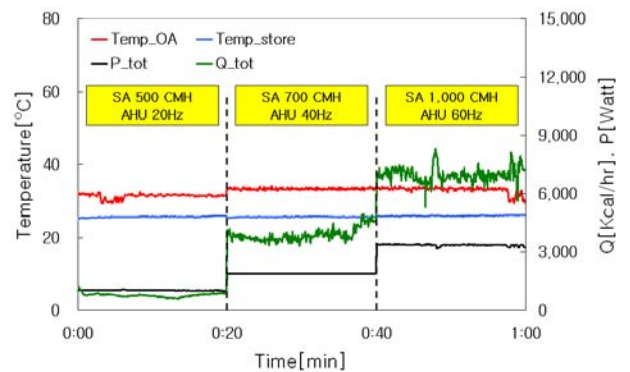


Fig. 5 Cooling capacity and power consumption profile of all air type.

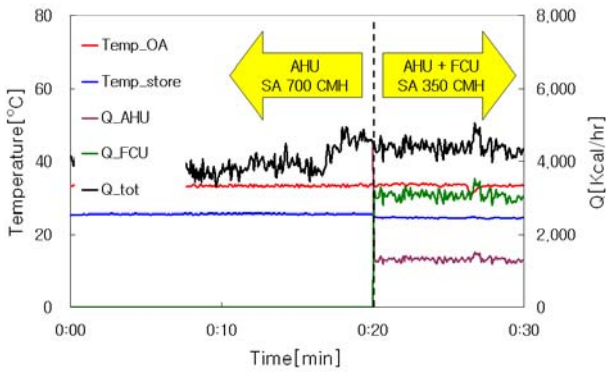


Fig. 6 Operation characteristics of the two HVAC types.

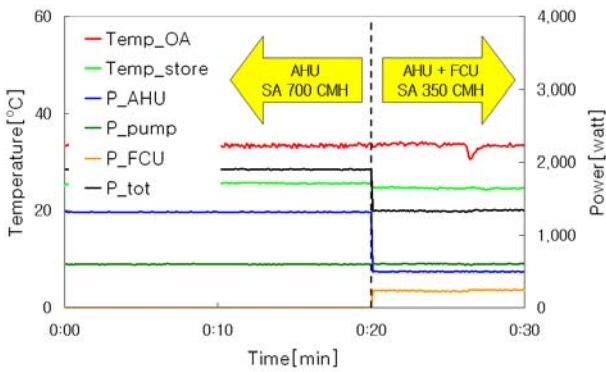


Fig. 7 Power consumption profile of the two HVAC types.

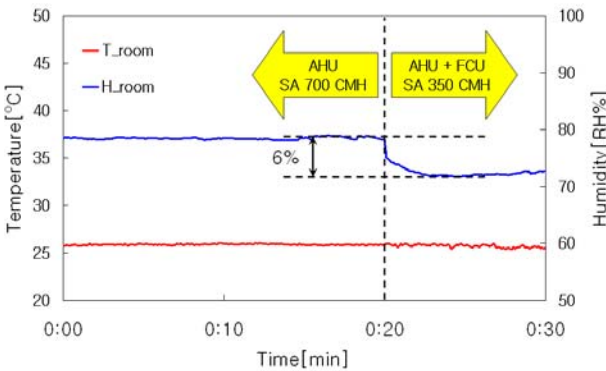
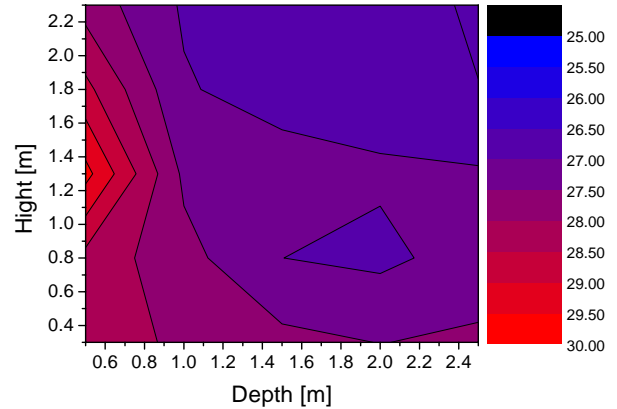


Fig. 8 Temperature and humidity control characteristics of two HVAC types.

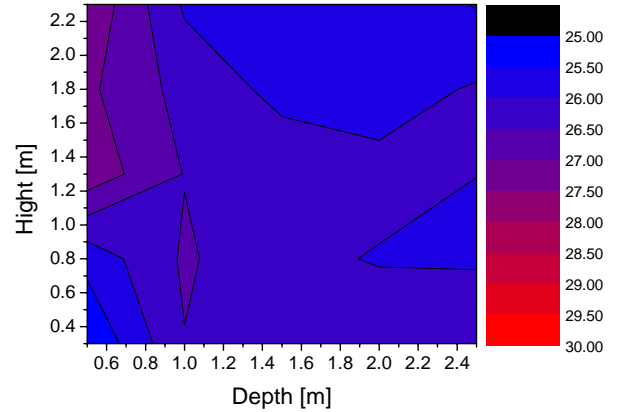
W로 평가되었다.

Figures 6~8은 개량시스템으로 도입한 국소환기 및 천장유닛 결합형 복합시스템의 운전특성을 기존 전공기방식과 비교한 결과이다.

먼저 절대 비교를 위하여 두 시스템의 운전 중 열용량을 유사한 수준으로 제어가 가능하도록 시



(a) all air type



(b) Hybrid type

Fig. 9 Temperature contour in the case of hybrid type.

물레이터를 조정하였으며, 전공기식과 복합방식을 일정한 시간 동안 동일한 부하조건에 노출시키면서 운전하였다.

Figure 6은 이때의 외기 및 실내 온도 변화와 부하 제거량 등을 도시한 결과로서, 전공기식에서 4,000~4,600 kcal/hr, 복합방식에서 국소환기가 1,200~1,300 kcal/hr, 천장유닛에서 2,900~3,300 kcal/hr를 제거하였다. 이에 따라 33.5°C의 외기 조건에서 전공기 방식의 경우 26.7°C의 실내 온도를 유지하였으며, 혼합 방식의 경우 25.7°C의 실내 온도를 유지하였다.

Figure 7은 두 시스템의 소비전력을 비교한 결과로서, 순환펌프의 경우에 590 W 수준을 거의 일정하게 유지되었으며 공조기는 전공기식의 경우에 1,310 W, 국소환기식으로 작동할 경우에 590 W로 약 720 W의 소비전력이 감소하는 결과를 보였다. 천장형 유닛의 경우에 약 230 W의 전력이 추가적으로 사용되었다. 이에 따라 전체

소비전력의 경우 복합방식이 전공기식 보다 580 W의 소비전력이 감소하여 약 30% 절감되는 결과를 보였다.

Figure 8은 두 시스템의 실내 환경 제어특성 비교를 위하여 전공기식 및 복합방식의 운전에 따른 실내 온도와 실내 습도를 도시한 결과이다. 실내 온도의 경우에 두 방식이 모두 적절하게 실내온도를 유지하는 특성을 보이고 있으며, 실내 습도의 경우에 복합방식이 약 6% 정도 낮게 유지되는 특성을 보이고 있다.

Figure 9는 두 시스템의 열환경 제어특성을 정성적 분포와 정량적 온도구배 등으로 도시한 결과로서, 배면에 히터를 설치하여 인위적 부하가 집중되는 지역에서 높은 온도분포를 보이고 있으며, 냉기류의 영향이 큰 출입문 부근에서는 상대적으로 낮은 온도분포를 보이고 있다.

또한 전공기 방식의 경우 29℃ 이상의 국부적 온도상승이 발생하고 있어 재실자의 불쾌감을 유발할 것으로 판단된다.

전반적으로 복합방식의 경우에 천장유닛에 의한 실내온도 직접 제어가 가능하여 평균적인 실내온도가 1℃ 정도 낮게 유지되는 현상을 보였다. 이는 총제거열량과 덕트를 통한 열손실, 부하의 위치, 기류형성조건 등을 종합적으로 고려한 평가가 필요하다.

4. 결론

이상과 같이 지하도상가 시뮬레이터의 설치 및 운전을 통하여 기존 전공기식과 국소환기 및 천장유닛 결합방식의 운전특성을 비교하였으며, 주요 결론은 다음과 같다.

지하도 상가에서 기존의 전공기식에 비하여 개발된 복합방식이 운전시 소비되는 전력을 약 30% 이상 저감이 가능함을 확인하였다.

또한 복합방식의 경우에 기존 방식에 비하여 약 6%의 습도저감과 1℃ 내외의 실내온도 저감을 보였으며, 권장냉방기준이 실내온도 26℃를 효과적으로 유지함을 보였다.

이상의 결과는 예비적인 것으로 부하의 조건과 비교조건을 보다 정교하게 검토한 결과를 추가로 제시하고자 한다.

후 기

본 논문은 한국건설기술연구원에서 건설교통부(한국건설교통기술평가원)의 지원으로 수행중인 “지하공간 환경개선 및 방재기술 연구-지하생활공간의 환경제어시스템 설계기술 개발” 과제의 일부 결과임을 알립니다.

참고문헌

1. H. C. Lee, I. J. Hwang, H. J. Shin, A Numerical Study on the Airflow and Temperature Distribution in the Underground Shopping Street with Tunnel Shape, SAREK 2004 Winter Annual Conference, pp. 165-170. 2004.
2. Y, K, Kim, J, J, Yee, Evaluation of Thermal Environment on Air-barrier Type Perimeterless System with Under floor Air Conditioning System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 5, pp. 346-351, 2003.
3. J. Y. Kim, H. J. Shin, Development of HVAC System to Lower the Conveyance Energy and Building Height, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 116-125, 2003.
4. S. D. Kim, A Study on the Design Standard of Demand Factor and Load Characteristics in Underground Streets, The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 10, No. 4, pp. 62-67, 1996.
5. 다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법, 환경부.