사무공간의 통합유니트 구축을 위한 공조유니트 도출에 관한 연구

김 지 현, 김 선 숙, 양 인 호*, 김 광 우**†
서울대학교 대학원 건축학과, *동국대학교 건축공학과, **서울대학교 건축학과

Development of the Air-Conditioning Unit for Workspace Integrated Units

Ji-Hyun Kim, Sun-Sook Kim, In-Ho Yang*, Kwang-Woo Kim†**
Department of Architecture, Graduated School, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea
**Department of Architectural Engineering, Dongkuk University, Seoul 100-715, Korea*
***Department of Architecture, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea*

(Received March 15, 2005; revision received May 29, 2005)

ABSTRACT: The purpose of this study is to develop the air-conditioning unit combined with the lighting unit for workspace and to supply its performance data at architectural design stage. The air-conditioning unit is one of the components of a workspace integrated unit, which can be defined as the planning unit satisfying the environmental comfort criteria of workspace. Air-conditioning diffusers are classified according to throws and features by literature review and case study. Then diffusers are combined with the lighting unit. Through the CFD simulation, the thermal performance of each unit was evaluated and finally various air-conditioning units combined with the lighting units were developed.

Key words: Workspace(사무공간), Air-conditioning unit(공조유니트), Integrated unit(통합유니트), Lighting unit(조명유니트), Diffuser(디퓨져)

기 호 설 명

UD : 유니트 깊이 [m]
UD_{AC} : 공조유니트 깊이 [m]
UD_L : 조명유니트 깊이 [m]
UW : 유니트 폭 [m]
UW_{AC} : 공조유니트 폭 [m]
UW_L : 조명유니트 폭 [m]

1. 서 론

최근 정보화 사회로의 급격한 이동과 더불어 혁명에 가까운 변화가 일어나고 있다. 생존을 위하여 이러한 변화에 가장 민감할 수밖에 없는 기업에서는 시대변화에 뒤쳐지지 않기 위하여 끊임없는 업무혁신이 이루어지고 있다. 이러한 업무혁신은 업무유형 및 조직구성의 변화를 필수적으로 동반하게 되며, 이에 따라 사무공간이 변화에 융통성 있고 신속하게 대처할 수 있도록 하는 요구가 크게 증대되고 있다.

또한 사무공간에 있어서 건축계획적 측면의 사용성능과 설비적 측면의 환경성능이 근무자 개인의 업무 효율성은 물론이고 나아가서 조직의 생산성에 큰 영향을 미치게 된다는 사실이 널리 알려짐에 따라, 각 분야에서 성능을 향상시키고자 하는 노력이 경주되어 왔다. 사용성능 측면에서는 워크스테이션 계획과 조직 특성을 반영한 사무공간 배치계획 등에 대한 연구가 수행되어 왔

† Corresponding author
Tel.: +82-2-880-7065; fax: +82-2-871-5518
E-mail address: sunkkw@snu.ac.kr

으며, 환경성능 측면에서는 최적의 온열환경 및 빛환경을 제공할 수 있는 공조 및 조명계획에 관한 많은 연구가 이루어져 왔다.

그러나 사무공간에서 이러한 계획요소들은 개별적으로 영향을 미치는 것이 아니라, 상호작용을 통해 복합적인 효과가 나타나게 된다. 따라서 사무공간을 이루는 각 계획요소들에 대한 개별적 연구도 중요하나 이러한 요소들이 결합되어 나타나는 복합적인 효과를 고려하여 최적의 성능을 발휘할 수 있도록 하는 통합적 관점에서의 연구도 필요할 것으로 판단된다. 즉, 사용성능과 환경성능이 동시에 만족되는 합리적인 계획이 이루어지기 위해서는, 설계 초기단계에서 설계자의 사용성능에 대한 의사결정이 사무공간의 환경성능에 어떠한 결과로 나타나게 되는지에 대한 검토가 이루어져야 할 필요가 있다.

이를 위해 기존에 중시되어 왔던 건축계획단위에 조명 · 공조 등 설비적 측면에서의 최적계획단위를 결합시켜 환경기준에 대한 검토를 거친 통합된 계획안을 제시하는 방법을 생각할 수 있으며 이러한 방법의 하나로서 사무공간 최소계획단위로서의 통합유니트 개념을 제시하고, 개념구현의 첫 단계로서 다양한 건축계획모듈을 대상으로 빛환경 성능이 사전에 고려된 조명유니트가 도출되었다.[2]

본 연구에서는 두 번째 단계로서 조명기구의 유형 및 배치가 고려된 조명유니트와 유기적으로 통합되며 온열환경 성능이 사전에 검토된 공조유니트를 도출하고자 한다.

이를 위해 관련 문헌조사와 사례조사를 통해 공조 급배기구의 특성을 분석하고 유형화하였으며, 이를 바탕으로 공조 급배기구를 조명유니트와 유기적으로 조합하였다. 조합된 안에 대하여 CFD 시뮬레이션을 통해 온열환경 성능을 평가하고 쾌적기준을 만족하는 공조유니트를 도출하였으며, 도출된 공조유니트의 상대 비교평가 작업을 통해 설계자가 선택시 참고할 수 있는 데이터를 제공하고자 하였다.

2. 통합유니트와 공조유니트의 개념 및 도출절차

2.1 통합유니트의 개념 및 도출절차[2]

통합유니트는 사무공간의 환경성능과 관련된 기본적 기준을 만족하면서 사무공간의 구성요소를 포함하는 최소계획단위로서, '모듈'로 표현되는 2차원적 치수개념에서 더 나아가 근무자의 업무효율에 영향을 미치는 조명, 공조 등과 관련된 각종 설비기기와 워크스테이션을 포함한 건축공간이 결합된 3차원적 개념으로 정의될 수 있다. 즉, 계획하고자 하는 사무공간의 건축모듈 및 업무유형, 환경성능기준 등에 따라 각 구성요소와 관련된 기기의 종류, 크기, 배치, 형상도 달라지므로, 이를 사전에 반영하여 사무공간 계획단계에서 주어진 조건에 맞게 통합적으로 각 구성요소를 계획할 수 있도록 하기 위한 것이다.

조명기구 및 급배기구 배치를 고려한 통합유니트의 도출절차를 수립하기 위해서는 먼저 사무소 건물의 건축, 조명, 공조계획 절차를 검토하여 상호 영향 및 선후 관계를 분석해야 할 것이다. 이는 일반적인 설계절차를 바탕으로 하여 통합유니트를 도출함으로써 보다 현실적인 대안을 제시할 수 있고, 또한 각 계획요소별 관계를 명확히 규명함으로써 사용자의 이해를 높일 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 설계절차를

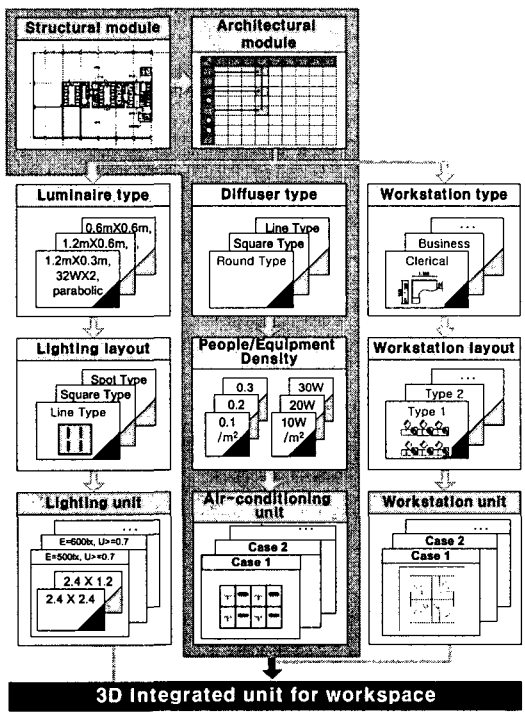


Fig. 1 Development process of the integrated unit.[2]

고찰하고 이를 통해 통합유니트의 도출절차를 수립하였다.

사무공간의 계획은 일반적으로 의장적인 측면을 고려하여 기둥간격 및 계획모듈에 따라 조명기구가 배치되고, 다음으로 냉난방 부하와 조명기구에 맞추어 급배기구가 배치되며, 소방관련법 기준에 따라 스프링클러 및 감지기가 배치된다.(1)

사무공간의 조명기구로는 일반적으로 형광등을 광원으로 하는 매입형 조명기구가 주로 사용되는데, 그 크기 및 광속량이 한정되어 있으므로 상대적으로 종류가 많고 성능의 폭이 다양한 급배기구에 비해 유니트의 종류가 한정된다고 할 수 있다. 따라서 유니트 통합시 Fig.1과 같이 다양한 평면에 적용이 가능하도록 건축계획모듈별로 조명유니트를 먼저 도출하고 조명유니트와 유기적으로 결합되고 사무공간의 온열환경기준을 만족하는 공조유니트를 도출한 후, 기타 설비기기 및 워크스테이션 등을 배치하는 순서로 통합유니트를 도출하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

2.2 공조유니트의 개념 및 도출절차

공조유니트는 사무공간의 쾌적한 온열환경조건을 제공하기 위한 공조 급배기구가 반복되는 최소단위로 정의할 수 있다. 공조 급배기구의 배치간격은 대상공간의 부하 크기, 디퓨져 타입, 풍량, 도달거리 등 여러 가지를 고려하여 결정하게 되는데, 디퓨져마다 담당 풍량과 도달거리가 매우 다양하여 선택의 폭이 넓다.

공조 급배기구는 조명기구의 종류 및 배치간격

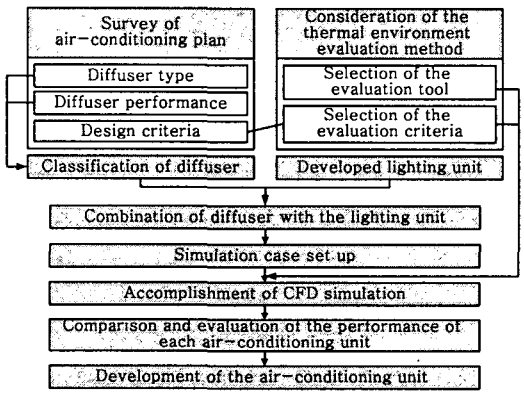


Fig. 2 Development process of the air-conditioning unit.

이 결정된 후 조명기구와 조합되어 배치되는 것이 일반적인데 이는 미적인 측면 이외에도 조명기구의 경우 종류 및 성능이 비교적 제한되어 있으나 공조 급배기구는 매우 다양하며 조명설계에 따른 결과를 반영하기가 용이하기 때문이다.

공조유니트 도출시 실제 사무공간의 계획현황 및 계획절차가 반영되어야 하며, 또한 조명유니트와의 유기적인 결합이 고려되어야 한다. 따라서 도출된 조명유니트와 유기적으로 결합될 수 있도록 공조 급배기구를 배치하고 조합안에 대하여 온열환경 성능을 평가함으로써 적정기준을 만족하는 공조유니트를 도출하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 공조유니트 도출절차는 Fig.2와 같으며 이를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

사무공간의 현황조사를 통하여 실제 사무공간에서 적용되고 있는 급배기구를 분석하고 이를 토대로 급배기구를 유형화하였다. 급배기구의 특성을 감안하여 개별 디퓨져의 도달거리와 풍량, 그리고 크기를 표로 정리하여 이를 바탕으로 급기구와 배기구의 배치 및 조명유니트와 통합된 공조유니트 도출과정에 활용하였다. 앞선 연구(2)에서 도출된 조명유니트 결과를 분석하고 표로 정리된 급배기구 특성을 종합적으로 검토하여 급기구와 배기구를 배치하였다. 이때 디퓨져의 토출 특성을 감안하여 원형이나 각형 급기구의 배치간격은 도달거리×2가 되도록 하였다. 라인형 급기구의 경우 배치간격은 디퓨져 길이방향으로는 디퓨져 끝단에서부터 다음 디퓨져 끝단까지의 거리가 도달거리가 되도록 하고, 디퓨져 길이의 수직방향으로는 도달거리가 배치간격이 되도록 결정하여 개별 급기구의 담당면적이 서로 겹치지 않으면서 도달거리가 미치지 않는 영역이 존재하지 않도록 하였다.

배기구는 short circuit 현상이 발생하지 않고

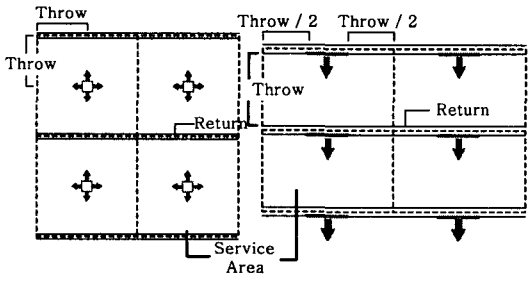


Fig. 3 Example of inlet and outlet position.(3)

규칙적인 간격으로 배치될 수 있도록 급기구 사이에 위치하게 되며, 도달거리에 따른 급배기구 배치사례를 나타내면 Fig. 3과 같다.

앞서 설명한 것처럼 급배기구는 조명기구의 종류 및 배치간격이 결정된 후 조명기구와 조합되어 배치되는 것이 일반적이므로 도출된 조명유니트의 배치간격에 적합한 급기구를 선택하여 배치하는 것이 타당하다. 이때 미적인 측면을 고려하고 최소 모듈로 동일한 형태가 반복될 수 있도록 하기 위하여 조명기구에 인접하여 급배기구를 조합하였다. 이렇게 조명유니트와 조합된 공조유니트 배치안에 대하여 온열환경 성능을 평가하기 위하여 CFD 시뮬레이션을 실시하고 그 결과를 분석하였다. 이를 통하여 공조유니트 도출기준에 적합한 공조유니트를 도출하였다.

3. 급배기구 유형화 및 평가방법 선정

3.1 급배기구 유형화

3.1.1 사무공간 현황조사

공조유니트를 도출하기 위해서는 기존 사무공간의 계획현황을 분석하고 유형화하여 이를 반영할 필요가 있다. 이를 위해서 국내 15개, 국외 5개의 사무소 건물을 대상으로 사례조사를 수행하였다. 1차로 도면 및 건설지를 통한 문헌조사를 실시하였으며, 국내 건물의 경우 현장답사를 통해 1차 조사내용을 확인 및 보완하는 순서로 이루어졌다. 조사대상 건물의 준공시기는 90년대 이전이 5개, 90년대 이후가 15개였다. 90년대 이전에 준공된 건물은 최근 동향을 파악하기에는 무리가 있으나, 대부분 국외 건물로서 이 시기에 이미 유니트에 대한 개념이 반영되어 계획되었고, 국내 건물과의 비교가 가능할 것이라는 점을 고려하여 조사대상에 포함하였으며 구체적인 현황조사 결과를 살펴보면 다음과 같다.

(1) 건축계획모듈

사무소 건물의 건축계획모듈은 설계단계에서의 평면계획 및 각종 설비계획의 기준이 되며, 운영단계에서의 사무공간 구획 및 재편성시 근간이 되는 계획요소이다. 특히 최근에는 건축계획모듈을 기준으로 하여 사무공간 구획 및 워크스테이션 배치까지 설계단계에서부터 사전에 계획하여 시공하는 사례도 찾아볼 수 있었다.

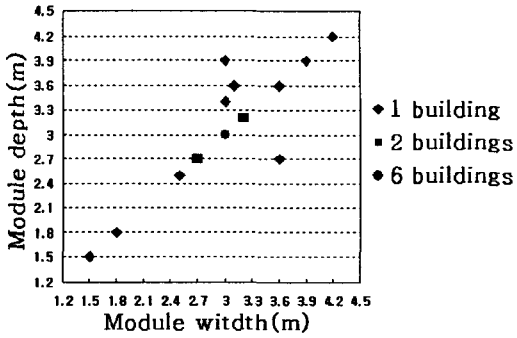


Fig. 4 Architectural module of survey buildings.[2]

사례조사 결과, Fig. 4에 나타난 바와 같이 3 m ×3 m의 모듈을 적용한 경우가 가장 많았으며, 대부분의 국내건물의 경우 0.3 m(3 M)을 증분값으로 하는 건축계획모듈이 적용되고 있었다.

(2) 조명기구 배치유형

조사대상 사무공간에서의 조명기구 배치유형은 크게 Line형, Spot형, Square형 등으로 분류할 수 있다. Line형 배치는 일정한 방향과 간격을 유지하면서 조명기구가 선형으로 배치되는 형태로서 20개 대상건물 중 15개 건물에 적용되었다. 국외 1개 건물에 적용된 Spot형은 정방형의 조명기구를 일정간격으로 배치하는 방식이며, Square형은 선형의 조명기구를 정방형으로 배치하는 방식으로 4개 건물에 적용되었으며, 급배기구, 스프링클러, 스피커 등 천장에 배치되는 기구들을 Square형의 단위에 포함한다.

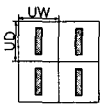
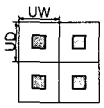
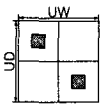
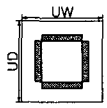
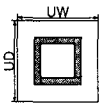
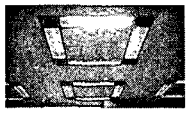
Spot형과 Square형 배치유형은 조명기구의 세부배치방법에 따라 각각 두 가지로 다시 구분할 수 있었으며, 이는 통합유니트에 포함될 급배기구 및 기타 설비기구의 배치에 영향을 미치게 된다. 조명기구의 배치간격은 1.5~3.9 m 정도로 0.3 m(3 M) 단위로 간격이 유지됨을 알 수 있었다.

현황조사 결과를 바탕으로 조명기구 배치유형을 정리한 결과는 Table 1과 같다.

(3) 공조 급배기구

급기구는 공조된 공기가 실내로 취출되는 말단기구로서 형태에 따라 크게 원형, 각형, 노즐형, 라인형, 그릴형 등으로 나누어 볼 수 있다. 이중 노즐형은 천장고가 높은 대공간에 주로 사용되는 것으로서 소음문제 등으로 인하여 사무공간에 사용하기에는 적합하지 않으며, 그릴형은 미관상의

Table 1 Lighting layout[3]

	Line type	Spot type		Square type	
		Spot (1)	Spot (2)	Square (1)	Square (2)
Layout					
Example					
Dimension	1.2×0.3, 1.2×0.6	0.6×0.6	0.6×0.6	1.2×0.3	1.2×0.3
Lighting source	FL32W×1 FL32W×2 FL32W×3	FL20W×2 FL20W×3	FL20W×2 FL20W×3	FL32W×1 FL32W×2	FL32W×1 FL32W×2

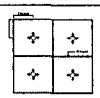
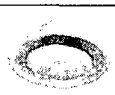
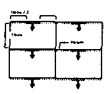
이유로 인하여 일반적으로 창고 등의 공간에만 한정하여 사용되며 사무공간에서는 거의 사용되지 않는다. 현황조사 결과 15개 건물에서 급기구로 라인형 디퓨져를 사용하고 있으며, 이는 라인형 천장배치가 일반적인 것과 관계가 깊은 것으로 판단할 수 있다. 그리고 최근 사무공간의 고급화로 인해 미관상의 이유로 급배기구를 천장에 가능한 노출시키지 않고 조명기구와 일체화시키려는 경향이 반영된 것이라 판단된다. 원형 및 각형 급기구는 과거에 비해 적용이 활발하지는 않으나 조명배치 유형 특성상 Square형 배치에서 많이 사용되고 있음을 알 수 있었다.

배기구는 급기구와 같은 종류의 기구를 사용하기도 하고, 플레넘 리턴 방식을 적용할 경우 별도의 배기구 대신에 라인형의 좁고 긴 개구부를 천장면에 설치하여 배기구 역할을 대신하게끔 하는 경우도 많이 있음을 알 수 있었다.

3.1.2 현황조사를 통한 공조 급배기구 유형화

사무공간 현황조사 결과를 분석한 결과 원형(Round, Round pan), 각형(Square, Square pan), 라인형(T-Line) 디퓨져로 크게 분류할 수 있었으며, 관련업체 방문 및 자료수집을 통해 급배기구를 유형화한 결과를 나타내면 Table 2와 같다.

Table 2 Diffuser classification[3]

Diffuser		Placement	Example	Performance & Dimension	
Round type	Round			Flow rate (CMH) Throw (m) Diameter (mm)	140~4,135 0.9~6.3 270~650
	Round pan			Flow rate (CMH) Throw (m) Diameter (mm)	160~3,285 0.9~6.0 270~650
Square type	Square			Flow rate (CMH) Throw (m) Diameter (mm)	160~1,840 1.2~6.3 270~550
	Square pan			Flow rate (CMH) Throw (m) Diameter (mm)	160~2,105 0.9~6.0 270~550
Line type	T-Line			Flow rate (CMH) Throw (m) Length (m) Slot width (mm)	85~374 1.2~3.6 0.6, 1.2 15, 20, 25

3.2 공조유니트 도출을 위한 평가방법

공조유니트는 조명기구 배치와 함께 고려되어 사무공간에 쾌적한 온열환경을 제공하고자 하는 것이 목적이므로, 조명유니트와 조합된 배치안에 대하여 이러한 온열환경 성능이 확보되었는지를 판단할 필요가 있다. 이를 위해서는 온열환경 성능 평가지표를 검토하고 적합한 기준을 마련해야 할 것이다. 따라서, 본 연구에서는 온열환경 성능 평가기법을 고찰하고 이를 분석함으로써 공조유니트 도출기준을 설정하였다. 한편으로 도출된 공조유니트 대안간의 상호 비교가 가능한 평가지표를 선정하여 이를 평가함으로써 설계자가 공조유니트 선택시에 참조할 수 있도록 하였다.

3.2.1 공조유니트 도출기준

실내 온열환경 평가지표를 구성하는 요소에는 물리적인 요소로서 온도, 습도, 기류속도, 복사온도가 있으며, 주관적인 요소로서 활동량, 착의량이 있다.

이들 요소를 조합하는 방식에 따라 유효온도, 신 유효온도, 신 표준 유효온도, 작용온도, 등온감각온도와 같은 여러 가지 온열환경 평가지표가 성립된다. 그러나 이러한 지표들은 온열환경 요소 가운데 일부만을 고려한 것으로, 모든 요소를 종합적으로 고려한 지표가 필요하다.

온열환경 성능 평가항목에는 여러 가지가 있을 수 있으며 대표적인 평가지표를 나타내면 Table 3과 같다. 본 연구에서는 이중에서 가장 대표적으로 사용되고 있는 종합적 쾌적지표인 PMV를 공조유니트의 평가지표로 선정하였으며 ISO Standard 7730에 근거하여 $-0.5<PMV<0.5$를 공조유니트의 도출기준으로 하여 CFD 시뮬레이션을 통해 조명유니트와 조합된 급배기구 배치안이 이를 만족하는지 여부를 판단하였다.

3.2.2 공조유니트 상대비교 평가

앞서 언급한 방식을 통해 여러 가지 타입의 조명기구와 공조 급배기구가 조합된 공조유니트가 도출되는데 이러한 공조유니트의 성능을 비교할 수 있는 데이터가 제공된다면 설계자 선택시 많은 도움이 될 수 있다. 따라서, 공조유니트 간의 상대비교가 가능한 방법을 모색하고 그에 따른 평가를 실시하였다.

먼저, 조명기구는 빛환경 측면에서는 사무공간에 적정 환경을 제공해주는 역할을 수행하나 온열환경 측면에서는 실내 발열부하요소 중의 하나로서 온열환경에 영향을 미치는 대상이 된다. 공조유니트가 조명유니트와 통합되는 것을 감안하면, 조명유니트의 단위면적당 발열량을 비교하여 온열환경 측면에서의 영향을 살펴보는 것이 필요함을 알 수 있으며 따라서, 본 연구에서는 이를 상대비교 평가지표의 하나로 선정하였다.

다음으로, Table 3의 온열환경 평가지표 중에서 상대적인 비교가 가능한 지표를 검토하였으며, 그 결과로 환기성능 평가지표인 환기효율과 국부적 불쾌감 평가지표인 ADPI를 선정하였다.

4. 시뮬레이션을 통한 공조유니트의 도출

4.1 조명유니트와 공조 급배기구의 조합

앞선 연구[2]에서 5가지 조명기구 배치유형에 대하여 빛환경 시뮬레이션을 통해 조명유니트를 도출하였으며 그 결과는 Table 4와 같다.

2.2절에서 언급한 방법에 의해 디퓨져 도달거

Table 3 Environmental index

Classification	Environmental index
Overall comfort	PMV (predicted mean vote) PPD (predicted percentage of dissatisfied)
Ventilation performance	Mean age of air
Local discomfort	ADPI (air distribution performance index) PD (percentage of dissatisfied) Vertical air temperature gradient Asymmetrical thermal radiation Warm or cold floor

Table 4 Lighting unit (Illuminance: 500~700 lx, Uniformity: more than 0.8)[2]

UD	UW								
	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9
1.2		▯	▯	▯			▯	▯	▯
1.5	▯ ▦	▯			▯	▯	▯	▯	
1.8	▯	▩		▯	▯	▯			
2.1			▯ ▪	▯				▩	
2.4		▯	▯	▪ ▩			▩	▩	
2.7	▯	▯			▩	▩	▩	▩	
3.0	▯	▯			▩	▩ ▣ ▣	▩		
3.3	▯					▩	▣		
3.6									
3.9									

※ ▯ Line type, ▦ Spot type (1), ▪ Spot type (2), ▣ Square type (1), ▣ Square type (2), □ FL32W×1, □ FL20W(32W)×2, ▩ FL20W(32W)×3

리에 따라 조명기구와 조합 가능한 공조 급배기구 배치안을 구성하였다. 이때, 사무공간의 현황 조사 결과를 반영하고 미적인 측면을 고려하여 현실적으로 적용 가능한 배치안을 5가지 유형의 조명유니트 각각에 대하여 도출한 결과를 살펴보면 다음과 같다.

4.1.1 Line형 조명유니트와의 조합

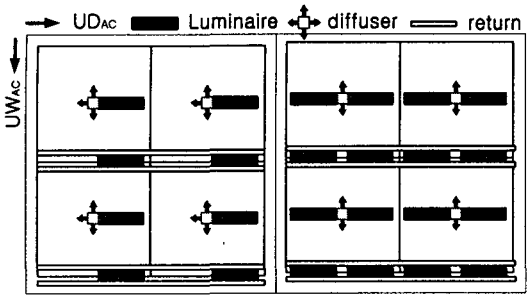
Line형 조명유니트의 경우 유니트의 폭과 깊이를 독립적으로 변화시킬 수 있는 특성으로 인하여 가장 많은 개수의 조명유니트가 도출되었으며, 조합 가능한 공조 급배기구 배치안을 구성한 결과 총 30개로 가장 많은 수의 배치안이 도출되었다. 원형과 각형 디퓨져의 경우 형태만 다를 뿐 토출 특성이 유사하므로 같은 크기와 형태의 배치안이 각각 7개씩, 라인형 디퓨져와 조합된 배치안은 16개로 나타났으며 이를 정리하면 Table 5와 같다.

한편, 도출된 배치안의 형태와 조명유니트 크기와의 상관관계를 분석한 결과 원형과 각형 디퓨져의 경우 크게 4가지로, 라인형 디퓨져의 경우 크게 6가지로 다시 분류할 수 있으며 이를 나타내면 Fig. 5, Fig. 6과 같다.

Table 5 Air-conditioning unit which can be combined with the Line type lighting unit

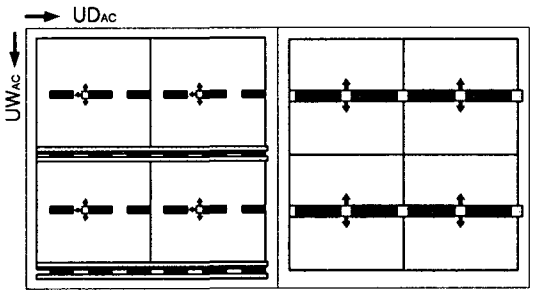
UD_L \ UW_L		1.5		1.8		2.1	2.4		2.7	3.0		3.3		3.6		3.9
	UD_{AC} \ UW_{AC}	1.5	3.0	1.8	3.6	4.2	2.4	4.8	5.4	3.0	6.0	3.3	6.6	3.6	7.2	
1.2	3.6						L1	L①								
	4.8													L2	L②	
1.5	3.0		R1,S1	L3	L③					R2,S2						
	4.5											L4	L④			
1.8	3.6						L5	L⑤								
	5.4								R3,S3							
2.1	4.2					R4,S4										
2.4	4.8													L6	L⑥	
	7.2														R5,S5	
2.7	2.7	L7	L⑦													
3.0	3.0		R6,S6	L8	L⑧											
	6.0										R7,S7					
3.3																

※ □ : Line type lighting unit, R1, R2, R3 … : round type diffuser,
S1, S2, S3 … : square type diffuser, L1, L①, L2, L② … : line type diffuser



(a) R6, S6
$UW_{AC}=2\times UW_L$
$UD_{AC}=UD_L$

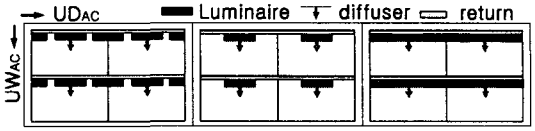
(b) R1, S1, R4, S4, R7, S7
$UW_{AC}=2\times UW_L$
$UD_{AC}=2\times UD_L$



(c) R3, S3, R5, S5
$UW_{AC}=2\times UW_L$
$UD_{AC}=3\times UD_L$

(d) R2, S2
$UW_{AC}=UW_L$
$UD_{AC}=2\times UD_L$

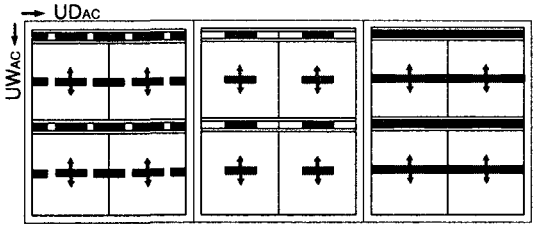
Fig. 5 Layout classification for round or square type diffuser (Line type lighting unit).



(a) L3, L4, L5, L6
$UW_{AC}=UW_L$
$UD_{AC}=2\times UD_L$

(b) L7, L8
$UW_{AC}=UW_L$
$UD_{AC}=UD_L$

(c) L1, L2
$UW_{AC}=UW_L$
$UD_{AC}=3\times UD_L$



(d) L③,L④,L⑤,L⑥
$UW_{AC}=2\times UW_L$
$UD_{AC}=2\times UD_L$

(e) L⑦, L⑧
$UW_{AC}=2\times UW_L$
$UD_{AC}=UD_L$

(f) L①, L②
$UW_{AC}=2\times UW_L$
$UD_{AC}=3\times UD_L$

Fig. 6 Layout classification for line type diffuser (Line type lighting unit).

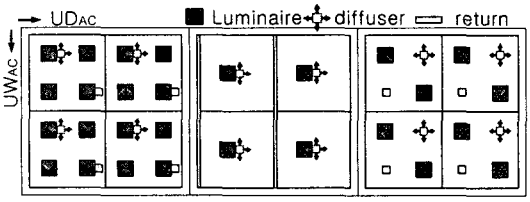
4.1.2 Spot형 조명유니트와의 조합

Spot형 조명유니트의 경우 유니트의 폭과 깊이가 동일하므로 제한된 개수의 조명유니트가 도출되었으며, 조합 가능한 공조 급배기구 배치안을 구성한 결과 Spot(1)형 6개, Spot(2)형 4개 등 모두 10개의 배치안이 도출되었다.

Table 6 Air-conditioning unit which can be combined with the Spot and Square type lighting unit

Spot (1) type									
UW_L	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9
UW_{AC}	3.0	1.8, 3.6							
	R1,S1	R2,S2,R3,S3							
Spot (2) type									
UW_L	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9
UW_{AC}				2.4					
				R4,S4,R5,S5					
Square (1) type									
UW_L	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9
UW_{AC}						3.0			
						R1,S1			
Square (2) type									
UW_L	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9
UW_{AC}						3.0			
						R2,S2			

※ □ : lighting unit, R1, R2, R3 … : round type diffuser, S1, S2, S3 … : square type diffuser



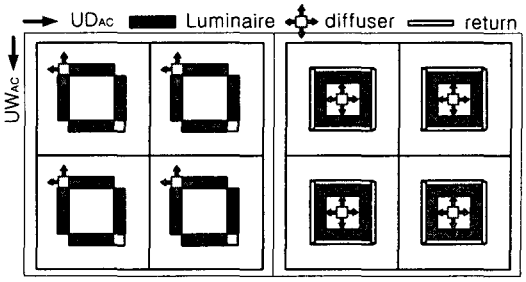
(a) R1, S1, R3, S3 (b) R2, S2 (c) R4, S4, R5, S5
Spot(1) type Spot(1) type Spot(2) type
$UW_{AC}=UW_L$ $UW_{AC}=0.5\times UW_L$ $UW_{AC}=UW_L$

Fig. 7 Layout classification for round or square type diffuser (Spot type lighting unit).

원형과 각형 디퓨져를 적용한 같은 크기와 형태의 배치안이 각각 5개씩 도출되었으며 이를 정리하면 Table 6과 같다. 한편, 도출된 배치안의 형태와 조명유니트 크기와의 상관관계를 분석한 결과 Spot(1)의 경우 두 가지로 다시 분류할 수 있으며 이를 나타내면 Fig. 7과 같다.

4.1.3 Square형 조명유니트와의 조합

Square형 조명유니트의 경우 Spot형과 마찬가지로 유니트의 폭과 깊이가 동일하므로 제한된 개수의 조명유니트가 도출되었으며, 조합 가능한 공조 급배기구 배치안을 구성한 결과 Square(1)형 2개, Square(2)형 2개 등 모두 4개의 배치안이 도출되었다. 원형과 각형 디퓨져를 적용한 같은 크기와 형태의 배치안이 각각 2개씩 도출되었으



(a) R1, S1 (b) R2, S2
Square(1) type Square(2) type
$UW_{AC}=UW_L$ $UW_{AC}=UW_L$

Fig. 8 Layout classification for round or square type diffuser (Square type lighting unit).

며 이를 정리하면 Table 6과 같다. 한편, 도출된 배치안의 형태와 조명유니트 크기와의 상관관계를 분석한 결과를 나타내면 Fig. 8과 같다.

4.2 CFD 시뮬레이션을 통한 온열환경 평가

공조유니트를 도출하기 위해서는 조명유니트와 조합된 공조 급배기구 배치안이 온열환경 성능을 만족하는지 여부를 판단하여야 한다. 이를 위하여 4.1절에 나타낸 배치안(Table 5, Table 6, Fig. 5~8 참조)에 대하여 CFD 시뮬레이션을 통해 이를 평가하였다.

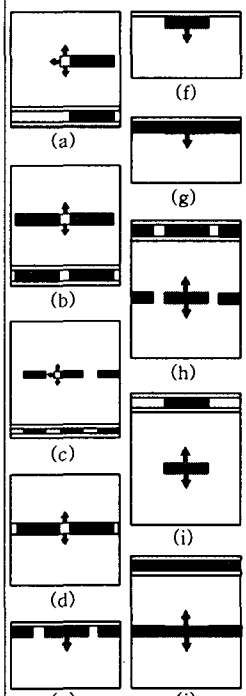
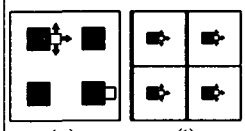
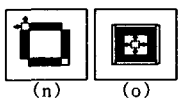
사무공간 현황조사 결과를 바탕으로 천장고

Table 7 Simulation case and PMV result

Diffuser		Line type							
Round	Case	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	
	PMV	0.40	0.24	0.45	0.22	0.28	−0.42	0.33	
Square	Case	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	
	PMV	0.13	−0.26	0.12	0.26	−0.16	−0.48	−0.06	
Line	Case	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
	PMV	−0.42	−0.47	−0.45	0.31	−0.46	0.37	−0.32	−0.49
	Case	L①	L②	L③	L④	L⑤	L⑥	L⑦	L⑧
	PMV	−0.34	−0.48	−0.43	−0.49	−0.48	0.25	0.16	0.08

Diffuser		Spot type					Square type	
		Spot (1)			Spot (2)		Square (1)	Square (2)
Round	Case	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2
	PMV	0.21	0.22	0.14	0.12	0.18	0.33	0.38
Square	Case	S1	S2	S3	S4	S5	S1	S2
	PMV	−0.33	0.19	−0.34	−0.30	−0.21	0.06	0.22

Table 8 Developed air-conditioning unit and its performance comparison

Lighting unit type	Air-conditioning unit layout		$UW_L \times UD_L$	$UW_{AC} \times UD_{AC}$	Luminaire	Lighting Power Density (W/m^2)	Diffuser type	Throw (m)	Mean age of air(s)	ADPI (%)
Line		(a)	1.5×3.0	3.0×3.0	FL32W×2	17.07	Round	1.5	330.2	95
							Square		480.0	96
		(b)	1.5×1.5	3.0×3.0	FL32W×1	17.07	Round	1.5	364.2	85
							Square		521.8	83
			2.1×2.1	4.2×4.2	FL32W×2	17.41	Round	2.1	529.8	84
							Square		492.9	99
			3.0×3.0	6.0×6.0	FL32W×3	12.80	Round	3.0	352.6	95
							Square		615.6	94
		(c)	2.7×1.8	5.4×5.4	FL32W×2	15.80	Round	2.7	329.8	93
							Square		529.6	93
			3.6×2.4	7.2×7.2	FL32W×3	13.33	Round	3.6	384.8	93
							Square		629.0	89
		(d)	3.0×1.5	3.0×3.0	FL32W×2	17.07	Round	1.5	308.9	99
							Square		766.9	92
		(e)	1.8×1.5	1.8×3.0	FL32W×1	14.22	Line	1.8	494.6	91
			3.3×1.5	3.3×4.5	FL32W×2	15.52		3.3	744.7	97
			2.4×1.8	2.4×3.6	FL32W×2	17.78		2.4	401.8	96
			3.6×2.4	3.6×4.8	FL32W×3	13.33		3.6	588.8	91
		(f)	1.5×2.7	1.5×2.7	FL32W×2	18.96		1.5	534.7	85
			1.8×3.0	1.8×3.0	FL32W×2	14.22		1.8	512.1	67
		(g)	2.4×1.2	2.4×3.6	FL32W×1	13.33		2.4	508.5	94
			3.6×1.2	3.6×4.8	FL32W×2	17.78		3.6	570.2	78
		(h)	1.8×1.5	3.6×3.0	FL32W×1	14.22		1.8	519.0	85
			3.3×1.5	6.6×4.5	FL32W×2	15.52		3.3	612.4	89
			2.4×1.8	4.8×3.6	FL32W×2	17.78		2.4	602.8	95
			3.6×2.4	7.2×4.8	FL32W×3	13.33		3.6	525.5	88
		(i)	1.5×2.7	3.0×2.7	FL32W×2	18.96		1.5	514.6	82
			1.8×3.0	3.6×3.0	FL32W×2	14.22		1.8	493.0	98
		(j)	2.4×1.2	4.8×3.6	FL32W×1	13.33		2.4	545.0	91
			3.6×1.2	7.2×4.8	FL32W×2	17.78		3.6	520.3	81
Spot(1)		(k)	1.5×1.5	3.0×3.0	FL20W×2	21.33	Round	1.5	333.3	87
							Square		582.6	92
			1.8×1.8	3.6×3.6	FL20W×3	22.22	Round	1.8	335.3	70
							Square		609.4	78
		(l)	1.8×1.8	1.8×1.8	FL20W×3	22.22	Round	0.9	312.1	90
							Square		558.7	83
Spot(2)		(m)	2.4×2.4	2.4×2.4	FL20W×2	16.67	Round	1.2	261.5	93
							Square		403.7	91
			2.4×2.4	2.4×2.4	FL20W×3	25.00	Round	1.2	279.8	92
							Square		418.1	90
Square(1)		(n)	3.0×3.0	3.0×3.0	FL32W×1	17.07	Round	1.5	416.7	84
							Square		551.2	90
Square(2)		(o)	3.0×3.0	3.0×3.0	FL32W×1	17.07	Round	1.5	412.2	85
							Square		546.0	92

2.7 m의 사무공간을 구성하였으며, 외부환경의 영향을 배제하고 내주부에 적용이 가능한 공조유니트를 도출하기 위해서 벽이나 symmetry 경계조건에 의한 영향을 배제할 수 있도록 3×3개의 공조유니트 배치안을 구성하고 중앙부 배치안 만을 평가대상 공간으로 하였다. 평가지표는 온열환경 성능 만족여부를 판단하기 위한 PMV와 공조유니트간의 상대비교를 위한 환기효율 및 ADPI로 하였다.

이 중에서 PMV의 경우 거주역 만을 평가하기 위하여 바닥에서 1.8 m 높이까지의 공간을 대상으로 하여 평균값을 구하였고, 환기효율과 ADPI는 천장 높이까지 전체 공간을 대상으로 하였다.

해석도구는 CFD 해석 프로그램으로 건물 내외부에서의 공기유동, 열전달, 압력 및 오염물질 거동해석에 적합하도록 코딩된 FLUENT사의 Airpak 프로그램을 사용하였다.

실내 발열부하는 실제 내주부 현황을 반영하기 위하여 사무공간 현황조사 결과 및 관련문헌을 참고하여 평균값인 재실밀도 0.1인/m^2, 기기발열 20 W/m^2인 경우와 향후 실내발열부하의 증가를 감안하여 최대값인 재실밀도 0.2인/m^2, 기기발열 30 W/m^2인 경우 두 가지로 구분하여 각각의 배치안에 대하여 시뮬레이션을 실시하였다. 조명발열의 경우 조합된 조명유니트의 발열량을 적용하였다. 수행된 시뮬레이션 case와 재실밀도 0.1인/m^2, 기기발열 20 W/m^2이 적용된 경우 PMV 계산결과를 나타내면 Table 7과 같으며, 온열환경 성능을 만족하고 있음을 알 수 있다.

4.3 공조유니트 상대비교 평가 결과

온열환경 평가 CFD 시뮬레이션을 통해 Table 7에 나타낸 바와 같이 Line형 조명유니트와 통합된 30개, Spot형 조명유니트와 통합된 10개, Square형 조명유니트와 통합된 4개 등 모두 44개의 공조유니트가 도출되었다. 이러한 44개의 공조유니트에 대하여 조합된 조명기구의 발열량과 조명유니트의 크기를 고려하여 m^2당 조명발열량을 구하고, 앞서 온열환경 평가 CFD 시뮬레이션을 통해 구한 환기효율 및 ADPI 계산 결과를 분석하였으며, 최종적으로 이를 정리하여 나타내면 Table 8과 같다.

Table 8을 살펴보면 같은 도달거리를 가지고 있는 디퓨져라고 해도 디퓨져별로 담당하는 풍량과 토출특성이 달라 온열환경 측면에서 차이가 나타나며, 또한 같은 유형의 디퓨져를 적용하더라도 배치방법에 따라 온열환경이 차이를 보일 수 있음을 알 수 있다.

예를 들어, 같은 도달거리 1.5 m를 가지고 있는 배치안 (a)와 (d)의 4가지 공조유니트를 비교해 보면 *Mean age of Air*는 308.9 s~766.9 s, ADPI는 92~99%까지 분포하는 것으로 나타나 디퓨져 토출특성과 배치방법에 의해 온열환경이 차이나고 있음을 알 수 있다. 또한 (a)와 (d)의 배치안 중에서 똑같이 Square 디퓨져를 적용한 경우에도 배치방법의 차이로 인하여 Mean age of Air와 ADPI가 차이가 나고 있음을 알 수 있다.

Table 8을 활용하면 설계자가 초기 설계단계에서 조명 및 공조 계획 관련 선택사항이 실제 사무공간에서 결과로서 어떠한 환경 성능을 발휘할 수 있는지 쉽게 확인할 수 있다. 또한 선택할 수 있는 대안들의 성능을 상호 비교 평가해 볼 수 있으므로 설계자의 의도를 가장 충실히 반영할 수 있는 계획안을 선택하는 것이 가능하게 된다.

5. 결 론

본 연구에서는 통합유니트 구축의 두번째 단계로서 조명기구의 유형 및 배치가 고려된 조명유니트와 유기적으로 통합되며 온열환경 성능이 사전에 검토된 공조유니트를 도출하였다. 또한 도출된 공조유니트의 상대비교평가 작업을 통해 설계자가 활용할 수 있는 자료를 구축하였으며 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 사무공간 현황조사 결과, 사무공간에서 일반적으로 사용되고 있는 디퓨져는 원형, 각형, 라인형으로 구분할 수 있었으며, 미관상의 이유로 급배기구를 천장에 노출하지 않고 조명기구와 일체화시키려는 경향으로 인하여 라인형 디퓨져의 사용이 점차 확대되고 있다.

(2) Line형 조명유니트와 통합된 공조유니트의 개수가 30개로 가장 많았으며 Spot(1)형 6개, Spot(2)형 4개, Square(1)형 2개, Square(2)형 2개 등 모두 44개의 공조유니트가 도출되었다.

(3) UW_L과 UD_L이 같은 특징으로 인하여 Spot형 및 Square형 조명유니트와 조합된 공조유니트는 제한된 범위에서만 적용이 가능하다.

(4) 배치안의 형태와 조명유니트 크기와의 상관관계를 분석한 결과 Line형 조명유니트와 통합된 공조유니트는 원형과 각형 급기구의 경우 4가지로, 라인형 디퓨져는 6가지로 분류할 수 있으며, Spot(1)형의 경우 2가지로 분류할 수 있다.

(5) 공조유니트 도출결과를 분석한 결과, 도달거리 1.5 m인 원형 혹은 각형 급기구를 적용한 3.0 m(UW_{AC})×3.0 m(UD_{AC}) 공조유니트는 Spot(2)형을 제외한 4가지 타입의 조명유니트와 조합이 가능하며 가장 많이 적용될 수 있다.

(6) 단위면적당 조명발열량, 환기효율 및 ADPI 등의 상대비교가 가능한 지표를 활용하여 도출된 공조유니트의 상대비교 평가작업을 수행하였으며 설계자는 건축계획 초기단계에서 배치안과 더불어 이러한 자료를 활용하면 설계자의 의도를 충실히 반영할 수 있는 계획안을 선택하는 것이 가능하게 된다.

본 연구에서는 외부로부터 영향을 받는 외주부에 비해 일반적으로 해당 면적이 넓고 외부의 영향을 받지 않아 동일한 조건이 공간 및 시간적으로 연속되는 특징을 가지고 있는 내주부만을 대상으로 하여 공조유니트를 도출하였다. 그러나, 실제 사무공간 현황을 반영하기 위해서는 외부 환경의 영향이 직접적으로 미치게 되는 외주부에 대한 고려가 추가로 이루어져야 할 것이며, 그 결과를 반영한 공조유니트 도출이 이루어져야 할 것이다.

본 논문은 건축계획모듈, 조명, 공조, 방재 및 기타 설비, 워크스테이션 등의 배치를 종합적으로 고려하는 통합유니트 개발 결과의 일부로서, 현재 관련연구가 진행 중에 있다. 향후 지속적인 연구를 통해 궁극적으로 사무공간의 구성요소 모두가 반영된 통합유니트 개발이 이루어져야 할 것이다.

후 기

본 연구는 2003년 건설교통부 건설기술연구개발사업(R&D/02산학연G01-01)의 일환으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Aronoff, S. and Kaplan, A., 1995, Total Workplace Performance, WDL Publications, Ottawa.
2. Kim, S. S., Shin, S. J., Kim, J. H., Yang, I. H. and Kim, K. W., 2005, Development of the lighting unit for workspace integrated units, Journal of the Architectural Institute of Korea, Planning and Design Part, Vol. 21, No. 1, pp. 243-250.
3. Kim, J. H., Kim, S. S., Yang, I. H. and Kim, K. W., 2003, A study on the development of air-conditioning unit considering lighting unit for workspace, Proceedings of the SAREK 2003 Winter Annual Conference, pp. 740-745.
4. IBS Korea, Seoul National University, Korea University, Han-Il MEC, KICT and BAS Korea, 2003, Research and Development of Technologies for Environment-friendly Smart Building Systems, Ministry of Construction & Transportation.
5. Lee, S. W., 2004, A Study on the Development of the Integrated Module System for the Office Workspace, MS thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.