

# 식물공장 근로자의 작업 환경개선을 위한 현장실측 연구

## The measured field survey for the improvement of the working environment of workers in the plant factory

권혁민\* · 정석환\*\* · 강주원\*\*\* · 양정훈\*\*\*\*†

Kwon Hyuk-Min\*, Jeong Seok-Hwan\*\*, Kang Joo-Won\*\*\*, Yang Jeong-Hoon\*\*\*\*†

(Submit date : 2014. 9. 15., Judgment date : 2014. 9. 22., Publication decide date : 2014. 10. 23.)

**Abstract :** A plant factory system is getting the spotlight as alternatives to cope with the weather anomaly and food crisis because of the global warming. A study on 'Plant Processing Factory System' has been proceeded to develop 'low-carbon green growth' since our government selected it as the green technologies in 2010. The plant factory has played a major role in growth industries connected to many other fields like low-carbon as well as lighting and automated system. This study is aimed to solve the problems on low productivity and health problem of plant workers caused by highly concentrated carbon dioxide and low temperature in each process in the plant factory. It is aimed to research data to understand the actual conditions of plant workers and improve the thermal environment.

**Key Words :** 식물가공공장(Plant Processing Factory), 실내공기질(Indoor Air Quality), 실내 환경 개선(Improvement of In door Environment)

### 1. 서 론

20세기 이후 온난화현상으로 기상이변 등으

로 유럽, 미국, 일본 등 선진국과 농사를 지을 수 없는 중동 및 극지에서 작물을 재배할 수 있는 식물공장이 대안으로 거론되어지고 있다.

\*권혁민 : 영남대학교 대학원 건축학과 박사과정

\*\*정석환 : 영남대학교 대학원 건축학과 석사과정

\*\*\*강주원 : 영남대학교 건축학부 교수

\*\*\*\*† 양정훈(교신저자) : 영남대학교 건축학부 교수

E-mail : yangjh@ynu.ac.kr, Tel : 053-810-2598

\*Kwon Hyuk-Min : Department of Architecture, Graduate School, Yeungnam University

\*\*Jeong Seok-Hwan : Department of Architecture, Graduate School, Yeungnam University

\*\*\*Kang Joo-Won : School of Architecture, Yeungnam University

\*\*\*\*† Yang Jeong-Hoon(corresponding author) : School of Architecture, Yeungnam University

E-mail : yangjh@ynu.ac.kr, Tel : 053-810-2598

유럽 일부국가에서 시작된 식물공장은 빛환경, 열환경, 공기환경등 생육환경을 제어하여 제품처럼 계획생산이 가능한 형태로 선진국에서는 연구가 활발하다. 환경을 제어하기 때문에 IT, BT, RT분야와 연계하기 때문에 신성장 산업의 가능성을 가지고 있다.

위에서 언급한 각 국가들은 이미 식물공장이 가동되고 있으며 기업을 중심으로 기술개발과 연구가 활발히 진행 중이다. 하지만 국내의 경우 농촌진흥청을 중심으로 1990년 이후로 연구개발을 진행하고 있으며, 2001~2004년 한국형 식물공장 모델개발 연구를 수행하였다. 또한 2005년 식물공장 기본시스템을 확립하여 2011년 3월 빌딩형·수직형 식물공장을 개관하여 관련 기술들을 개발해 나가고 있다. 그러나 본 기술들은 식물공장의 재배작물의 생육 및 상품성 유지, 포장, 발송 등을 중심<sup>1,2)</sup>으로 고려됨에 따라 근로자들의 근로여건 및 건강에 대한 고려가 미흡한 실정이다.<sup>1,2)</sup>

본 연구는 식물공장의 작물재배 및 포장 등 공정중심의 운영에 의해 불가피하게 발생하는 근로자들의 건강과 생산성 저하에 미치는 요인을 파악하고 개선안을 도출하는 것이 목적이다. 이를 위해 본 연구는 특정한 식물공장을 대상으로 작업공간 내 온습도 조건 및 CO<sub>2</sub>를 측정하여 열적쾌적성 및 공기질을 평가한다

## 2. 실내 온열환경 및 공기환경측정

### 2.1 실측대상 공장의 개요

실측 대상 식물공장은 경상북도 안동시에

소재를 두고 2003년 3월 준공되었으며 사무실 1개동, 비닐하우스 3개동, 작물재배 및 가공공장 1개동으로 구성되어 있다. 식물공장의 전체 건축면적은 1063m<sup>2</sup>, 연면적은 2528m<sup>2</sup> 규모이다.

본 연구에서는 식물공장 중에서 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 작물재배 및 가공공장을 대상으로 현장실측을 실시하였다.

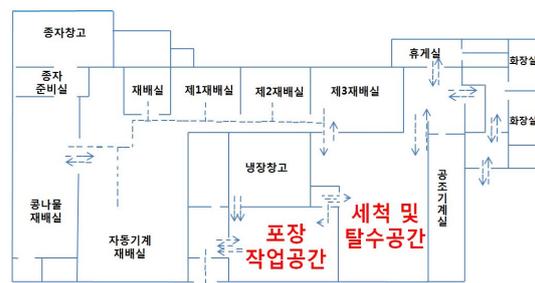


Fig. 1 Plane view of a measuring factory

식물공장의 작물재배 및 가공공장은 ‘작물재배실’과 ‘세척 및 탈수공간’, ‘포장작업공간’으로 크게 구분되어 있다. 이들 각각의 공간은 부분적으로 개방된 형태로 구성되어 있어 공간 내의 공기 유동이 빈번하게 발생하는 구조로 이루어져 있다. 본 연구에서는 근로자가 상시로 작업을 수행하고 있는 ‘세척 및 탈수공간’, ‘포장작업공간’을 현장실측의 대상공간으로 설정하여 하였다. 대상공간의 실내 급·배기구 위치는 Fig. 2에 나타내었다. A1~A9, C1~C9은 상부급기가 설치되어 있고, D1에 배기구가 설치되어 있다.

대상공간의 공조시스템의 구성도는 Fig. 3에서 보여주고 있으며, 저온 냉장상태의 편리한 유지·관리와 냉방에너지 절약을 위하여 Return Air를 100% 재사용하는 방식으로 운영되고 있는 것으로 나타났다. GAP(농산물우수관리시설)의 인증기준에서 요구하는 선과장(15~20℃)과 전처리작업장(5~15℃)의 공

1) 허정옥 외. 인공광 식물공장내 광질 제어가 방풍나물 생장에 미치는 영향, 한국농경학회지, 제32권 제3호, pp193-200, 2013  
 2) 김한길 외. RFID를 이용한 농산물 생산이력정보 관리 시스템, 한국정보통신학회논문집, 제16권 제5호, pp1071-1076, 2012

장 내 적정온도를 15°C 전후의 온도로 유지하는 것으로 나타났다.

중심으로 각 위치별로 측정이 이루어졌다.

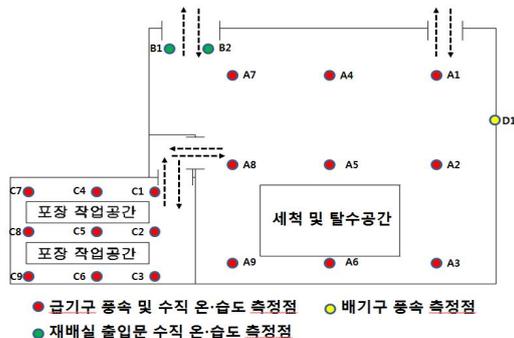


Fig 2. Measurement point and measurement area

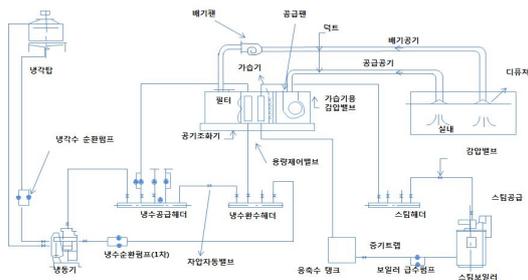


Fig 3. Configuration diagram of the air conditioning system

## 2.2 측정범위 및 측정방법

실측은 동계 및 하계로 구분하여 실시하였다. 동계는 2013년 2월 20일, 하계는 2013년 7월 11일에 각각 오전 9시부터 오후 5시까지 근로자들의 작업시간 동안 근로자의 인체 발열이 있는 상태로 측정하였다.

측정시간동안 동계와 하계 평균 약 26명의 근로자가 작업을 하고 있었다. 대상공간의 열환경 및 공기환경을 측정하기 위하여 Table 1에 나타난 측정장비를 이용하여 각 측정요소 및 위치별로 실측을 실시하였다. 측정요소는 온도, 습도, 기류속도, 벽면온도, CO<sub>2</sub>농도, PMV로 하였고, Fig. 2에 나타난 급·배기구 위치를

Table 1. The devices and method of measurement target

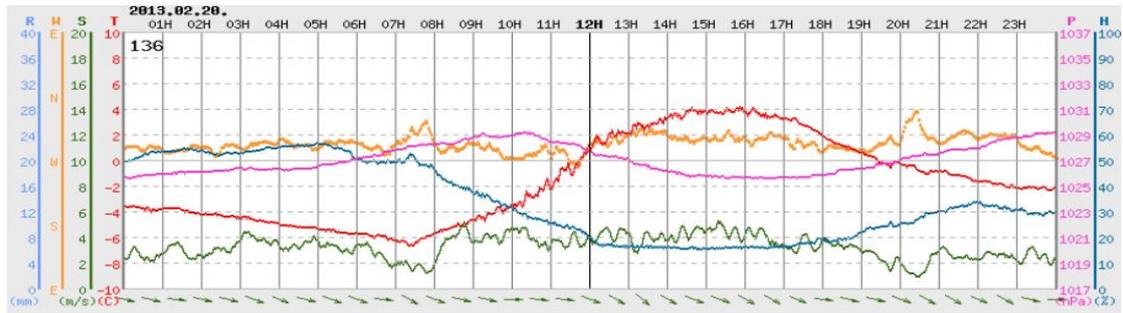
측정항목	측정기기	측정치점	측정치점 개수	측정대상	측정방법
급·배기구온도 및 습도	CompuFl-ow	급기구	18	A1~A9, C1~C9	시간별 1회 5분간 평균값
	8612	배기구	1	D1	
급·배기구풍속	ALNOR 8570, CAPTURE HOOD 6710	급기구	18	A1~A9, C1~C9	시간별 1회 10분간 평균값
	ALNOR 8570	배기구	1	D1	
수직·수평 온도 및 습도	CompuFl-ow	바닥표면 +0.1m	20	A1~A9, B1~B2, C1~C9	시간별 1회 5분간 평균값
	8612	1.5m	20		
		천장표면 -0.1m	20		
표면온도	Raynger-MX	바닥표면	20	A1~A9, B1~B2, C1~C9	시간별 1회
		천장표면	20		
열화상 측정	Nec-G10 0W2	실내작업 공간	2	A5, B5	시간별 1회
이산화탄소 측정	TSI-7545	1.5m	9	A1, A2, A3, A7, A8, A9, C2, C5, C8	시간별 1회 10분간 평균값
PMV	Thermal Comfort Meter/ AM-101	1.5m	1	B5	시간별 1회

각 측정위치별 온·습도 측정은 바닥표면에서 0.1m, 1.5m, 천장표면에서 -0.1m의 위치에서 5분간 측정하였다. 풍속 측정은 각 급기구(A1~A9, C1~C9)와 배기구(D1), 출입문(B1, B2) 등의 개구부에서 5분간 측정하여 평균값을 산출하였다. 열화상측정은 1시간 간격으로 포장작업공간과 세척 및 탈수공간 근로자의 작업영역 온도분포를 측정하였다. 이산화탄소측정은 바닥표면으로부터 1.5m의 위치에서 10분간 평균을 측정하였다.

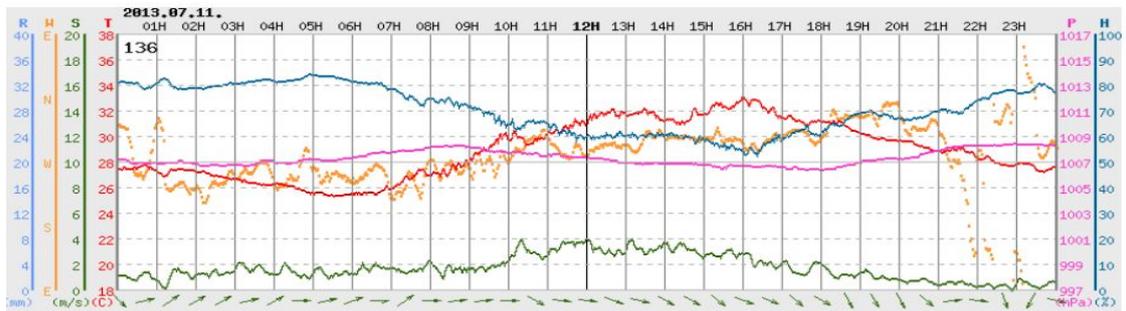
## 3. 측정결과 및 분석

### 3.1 외부기상

동계 및 하계의 실험기간 중 외부 기상데이터는 Fig. 4과 같이 기상청 데이터 자료를 사



(a)동계 기상데이터



(b)하계 기상데이터

Fig. 4 Weather conditions outside of the summer and winter<sup>3)</sup>

Table 2. Horizontal the measurement temperature of winter (1.5m)

지점 시간	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B1	B2	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
09~10시	15.4	15.2	14.9	14.5	14.7	14.9	14.8	15	15.1	15	15.7	14.5	14.6	15	14.2	13.2	14.1	14	13.9	14.3
10~11시	15.7	15.3	15.2	14.8	14.7	14.5	14.5	14.4	14.7	15.1	15.1	14.9	14.8	14.6	14.8	14.8	14.9	14.6	14.5	15
11~12시	15.1	15.8	15.8	15.4	15.9	15.5	15.2	15.1	15.2	15.3	15.3	15.1	14.9	14.4	14.6	14	13.8	13.9	13.5	13.9
12~13시	16.1	15.1	15.5	15.6	15.1	14.8	14.6	14.2	14.3	14.4	14.5	15.2	15.8	15.6	15.2	15.3	15	14.8	14.5	14.4
13~14시	16.8	16.4	16.8	16.1	16.8	16.8	16.6	16	16.2	16.1	16.8	14.2	14.1	15	14.2	14.2	14.3	14	14.2	14
14~15시	16.1	16	16.7	16	16	15	15.3	15.3	15.5	16.4	15.5	15.6	15.9	16.4	15.8	15	14.7	14.7	14.4	15.6
15~16시	16	15	15.5	15.1	15	15.1	14	15.8	15.2	15	15.1	13.1	13.2	13.5	13.3	13.5	13.2	13.1	13.3	13.3
16~17시	15.5	15.5	15.3	14.9	14.6	14.5	14	14.5	14.5	14.5	14.6	16.7	15.9	15.8	15.5	15.1	15.2	15.5	15.2	15.1

Table 3. Horizontal the measurement temperature of summer (1.5m)

지점 시간	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B1	B2	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
09~10시	18.1	17.3	16.2	17.6	16.9	16	16.8	15.6	15.9	15	15.7	14.5	14.6	15	14.2	13.2	14.1	14	13.9	14.3
10~11시	17.6	17.1	17.3	18.1	16.8	15.9	15.8	15	15.1	17.1	17.6	15.3	15.1	15.8	15.6	15.5	15.1	15.8	15.1	15.2
11~12시	16.9	16.9	16.5	17.3	16.8	16.8	16.4	15.9	15.8	17.5	17.9	15.4	15.6	15.9	15.4	15.8	15.1	15.6	15.2	15.1
12~13시	16.5	16.3	16.6	16.2	16.3	15.9	16.3	15.6	15.5	16.9	16.8	15.9	15.1	15.6	15.3	15.6	15.9	15.4	15.1	15.1
13~14시	18.1	17.8	17.2	17.5	17.2	16.9	17.3	16.2	16.9	17.9	17.8	15	16.2	16.3	16.4	16.1	16.5	16.3	16.5	16.1
14~15시	17.9	18.5	18.1	17.6	17.3	17.2	17.3	16.8	16.8	17.8	17.8	16.6	16.4	16	16.1	15.9	15.4	15.6	15.9	15.8
15~16시	17.6	17.5	17.1	17.3	16.9	16.8	16.9	16.1	15.9	17.5	17.8	16.4	16.9	16.9	17.1	16.8	16.5	16.7	16.8	16.8
16~17시	17.9	17.3	16.9	17.1	16.8	16.8	16.8	16.1	16.2	17.2	17.1	16.9	17	16.8	16.7	16.5	16.8	16.3	16.8	16.3

용하였다. 동계 외부 기상조건은 측정일인 2월20일 외기온도 최고 영상 4.2℃, 최저 영하 6.6℃로 나타났으며, 상대습도는 15~32%를 나타내었다. 그리고 하계 외부 기상조건은 측정일인 7월11일 외기온도 최고 영상33.2℃, 최저 영상 25.3℃로 나타났으며, 상대습도는 52~70.4%를 나타내었다. 측정기간 중의 온습도 조건은 최근 3년간 동일기간 중의 평균 온도보다 하계는 5.5℃ 높고, 동계는 5.8℃ 낮게 형성되었다.

### 3.2 수평 온도 분포 및 변화

대상공간의 1.5m 높이의 수평 온도 측정 결과를 동계 및 하계로 나누어 Table. 2와 Table. 3에 각각 나타내었다. 동계 및 하계의 평균온도는 각각 14.9℃와 16.5℃로 나타났다. 시간에 따른 수평 온도분포를 보면, 하계와 동계가 비슷한 온도변화를 나타내고 있으며, 평균 약1℃~2℃의 수평온도 차이가 나타났다. 이러한 결과는 식물가공공장에서 요구하는 GAP(농산물우수관리시설)의 인증기준에서 요구하는 선과장(15~20℃)과 전처리작업장(5~15℃)의 공장 내 적정온도를 15℃전후의 온도로 유지하는 것으로 나타났다. Table. 2(동계)에서 포장작업공간 (C1~C9)에서 15시~16시의 경우 실의 온도가 급격히 떨어지는 현상이 발생하였다. 이것은 냉장창고에서 약 4℃정도로 보관되는 식물들이 작업공간으로 대량으로 유입이 되면서 온도가 하강하였다. 이러한 현상은 근로자의 세척 및 탈수 과정을 거쳐 약 1시간 후 온도가 정상 회복이 되었다. Table. 3(하계)를 살펴보면 오후 시간이 될수록 온도가 상승하였다. 이것은 근로자들의 휴게실 등 외부의 이동이 증가한 것과 상온의 재배실에서 발육하는 식물들이 세척 및 탈수공간으로

지속적으로 유입이 되어 다소 높게 나타난 것으로 판단된다.

### 3.3 수직 온도 분포

시간에 따른 수직 온도분포를 보면, 하계와 동계 평균온도는 14℃로 나타났다. 대부분 비슷한 양상으로 평균 약 1℃~2℃의 상하온도 차이가 작게 나타났으며 Fig. 5는 하계 A8의 측정지점을 나타내었다. 작업중 최저온도가 오전 오후 한번씩 나타나는데 이는 저온에서 생산된 식물이 작업장으로 유입이 되면서 온도구배가 발생하였다. Table. 4(하계)는 시간대별 전체 작업자 수를 나타내고 있으며, 근로자들이 재실 중에도 평균 14℃를 유지로써 인체의 열발생량이 작업장 전체 온도 상승에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

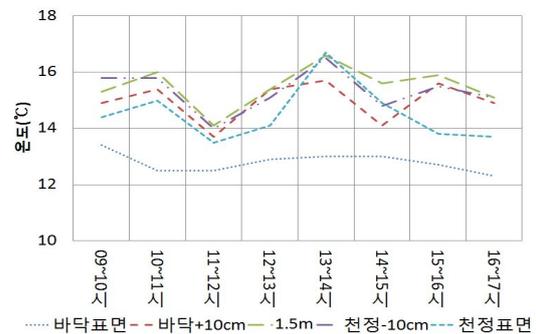


Fig. 5 Vertical temperature of summer A8 points

Table 4. Hourly occupancy person of summer

시간	재실인원	공조
08시~09시	3명(진행요원)	on
09시~10시	26	on
10시~11시	34	on
11시~12시	28	on
12시~13시	9	on
13시~14시	26	on
14시~15시	35	on
15시~16시	31	on
16시~17시	26	on
17시~18시	26	on

3) [http://www.kma.go.kr/weather/observation/past\\_cal.jsp](http://www.kma.go.kr/weather/observation/past_cal.jsp)

### 3.4 표면 온도 분포

하계측정의 작업장 및 재실자의 실내 표면온도를 Fig. 6과 재실인원을 Table. 4와 같이 나타내었다. 동계와 하계 모두 공조기가 24시간 가동이되면서 작업장의 적정유효온도인 13℃~16℃를 유지하고 있는 것으로 나타났다. 가공전 식물은 약 4℃의 저온창고에 보관이 되어 작업장으로 출하가 되며, 작업장으로 출하된 식물의 온도는 약 10℃내외로 유지되는 것을 알 수 있으며, Fig 5을 보면 가공공장의 특성상 근로자의 작업복이 얇아 작업복 표면온도와 피부표면이 30℃내외로 발생을 하는 것으로 나타났다. 하지만 공조기의 가동과 낮은 급기 온도의 영향으로 작업공간과 가공식물의 온도 상승에는 크게 영향을 미치지 못한 것으로 판단된다.

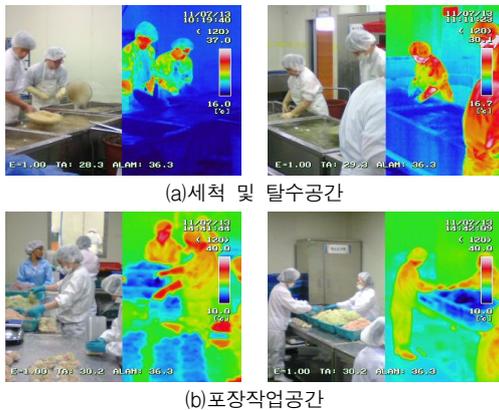


Fig. 6 The working chamber a surface temperature

### 3.5 급기구·배기구의 온도 및 풍속

여러 개의 측정지점 중 동계 측정시 세척 및 탈수공간 A5, 포장작업공간 B5의 급기구와 D1의 배기구 온도는 Fig. 7에 나타내었고, 습도는 Fig. 8에 나타내었다. 급기구의 온도는 12.3℃~15.7℃의 온도와 3.9회/h로 급기가 되는 것으로 나타났다. 배기구는 14.2℃~15.9℃의 온도

와 2.8회/h로 배기가 되는 것으로 나타났으며, 포장작업공간과 세척 및 탈수공간 모두 가압상태를 유지하는 것으로 나타났다. 11시~12시의 경우 습도가 급격히 떨어지는 현상은 오전의 세척작업을 마치고 내부 전체에 물기 제거 작업을 실시하여 습도가 급격히 떨어진 것으로 판단된다. 배기구 풍속이 높은 이유는 배기구가 벽 하부에 위치를 하고 나머지는 급기구로 작업장은 항상 가압상태를 유지하고 있기 때문에 배기 풍속이 조금 더 높게 설정되어 있는 것으로 나타났다.

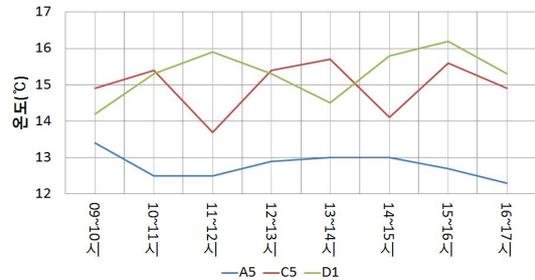


Fig. 7 Temperature of the outlet and inlet of winter

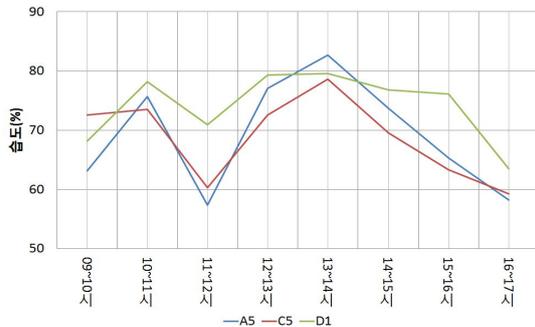


Fig. 8 Humidity of the outlet and inlet of winter

하계의 경우 동계 보다가 급기온도가 높게 측정이 되었다. 이유는 기계실에서 수동으로 온도를 제어하는데 동계와 하계가 같은 13℃로 설정이 되었었다. 이는 높은 외기온 때문에 열손실이 일어나는 것으로 판단되며, 배기구

의 경우도 배기온도가 동계보다가 하계가 평균 1°C 정도 높게 분포를 하는데 근로자들 또한 외부의 잦은 출입으로 인한 영향도 있는 것으로 판단된다.

### 3.6 각 실별 CO<sub>2</sub> 농도분포

세척 및 탈수작업공간에서의 측정위치는 A1, A2, A3, A7, A8, A9 총 6개이고, 포장작업공간의 측정위치는 C2, C5, C8 총 3곳이다. 하계의 세척 및 탈수작업공간은 Table. 5에 나타내었으며, 포장작업공간은 Table. 6에 나타내었다. Fig. 9는 각 작업장의 10~11시간대의 CO<sub>2</sub> 농도에 대해 나타내었다.

세척 및 탈수작업공간은 최소 2201ppm ~ 최대 3059ppm으로 나타났으며, 포장작업공간에서는 최소 3327ppm ~ 최대 4900ppm으로 나타났다.

Table 5. Washing space CO<sub>2</sub> concentration (ppm)

시간 \ 지점	A1	A2	A3	A7	A8	A9
09시~10시	2861	2796	2852	2824	2844	2819
10시~11시	3059	2948	2957	3053	2993	2822
11시~12시	2774	2892	2666	2789	2776	2735
12시~13시	2531	2675	2589	2603	2508	2601
13시~14시	2292	2433	2241	2253	2209	2200
14시~15시	2374	2450	2347	2396	2292	2370
15시~16시	2551	2511	2431	2469	2451	2516
16시~17시	2613	2562	2513	2521	2474	2469
17시~18시	2253	2329	2230	2233	2204	2201

Table 6. Packaging space CO<sub>2</sub> concentration (ppm)

시간 \ 지점	B2	B5	B8
09시~10시	4609	4917	4900
10시~11시	4182	4429	4565
11시~12시	4158	4351	4235
12시~13시	3986	4236	4069
13시~14시	3327	3376	3343
14시~15시	3754	3735	3667
15시~16시	4037	3912	3835
16시~17시	3829	3957	4028
17시~18시	3481	3399	3368

세척 및 탈수공간과 포장작업공간 모두 높은 농도의 CO<sub>2</sub> 양이 측정이 되었는데, 식물자체에서 배출되는 CO<sub>2</sub>의 양이 높은 것으로 예상되며, 포장작업공간의 농도가 세척 및 탈수공간보다 높은 이유로는 세척 및 탈수공간의 약 1/3정도의 면적에 동계 및 하계 평균 13명의 비슷한 작업 인원과 많은 양의 가공식물에서 나오는 CO<sub>2</sub> 때문인 것으로 판단된다. 동계와 하계측정때 작업 중간에 교대로 휴식을 취하는 약 10명의 작업자들에게 간략한 인터뷰를 통하여 약 8명의 작업자들이 고농도의 CO<sub>2</sub> 작업환경에 노출되어 두통과 어지러움 증상을 호소하는 것으로 조사되었다. ‘유해물질 및 물리적인자의 노출기준’<sup>4)</sup>에서 1일 작업 시간동안의 시간가중평균노출기준(TWA: Time weighted Average)은 CO<sub>2</sub>를 5000ppm으로 제시되어있다. 세척 및 탈수공간의 A7의 경우 TWA기준 2613ppm이 근로자들에게 노출이 되었고, 포장작업공간의 B5의 경우 TWA기준 4114ppm이 근로자들에게 노출이 되었다. 모두 TWA노출 범위안에 있지만 오랜시간 노출될 경우 근로자들의 작업에 영향을 주는 것으로 판단된다.

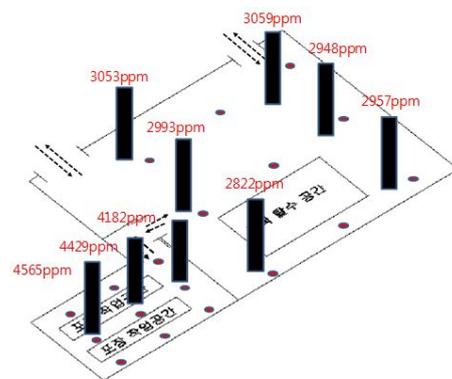


Fig. 9 CO<sub>2</sub> concentration of the measurement point

4) 산업안전보건법 제42조, 개정 2009.2.6

### 3.7 각 실별 실내온열쾌적성 검토

Fig. 10은 하계와 동계의 PMV(Predicted Mean Vote)의 측정 결과를 나타내고 있다. 측정지점은 동계와 하계 포장작업공간의 B5지점에서 측정하였다. PMV는 열쾌적측정기(AM-101)를 사용하였으며, 쾌적성을 평가하기 위한 PMV입력조건들은 ISO 7730와 공장 근로자들의 얇은 비닐외피등을 고려하여 하계는 0.5clo와 동계는 0.7clo로 설정하였으며, 활동량은 동계와 하계 모두 2.0met로 설정하여 PMV값을 자동으로 측정을 하였다. 하계와 동계 작업시간이 시작되는 오전9시부터 작업이 종료되는 오후 5시까지 PMV가 ISO-7730 쾌적기준인  $-0.5 < PMV < +0.5$ 에 모두 만족하지 못하였다. 작업자들 대부분 춥다는 의견을 제시하였다.

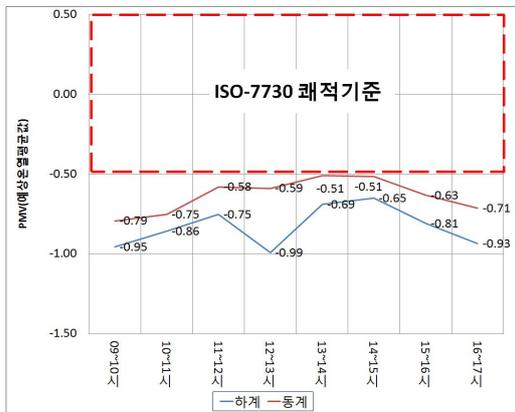


Fig. 10 Distribution of PMV of summer and winter

하계와 동계 작업시간이 시작되는 오전9시부터 작업이 종료되는 오후 5시까지 PMV가 ISO-7730 쾌적기준인  $-0.5 < PMV < +0.5$ 에 모두 만족하지 못하였다. 작업자들 대부분 춥다는 의견을 제시하였다. 특히 하계의 경우 외기온도와 20℃정도의 큰 기온차이로 인해 공장내에 작업하는 근로자들에게 냉방병의 발생

도 우려되었다.

Table 7. PPD distribution of summer and winter

계절 시간	하계	동계
09시~10시	24.3%	18.3%
10시~11시	20.6%	16.9%
11시~12시	17.0%	12.1%
12시~13시	25.9%	12.3%
13시~14시	15.0%	10.4%
14시~15시	13.9%	10.6%
15시~16시	18.9%	13.5%
16시~17시	23.5%	15.8%

동계와 하계 모두 작업자들의 출입 및 가공 식물들의 반입에 따라서 PMV의 값이 불규칙하게 변화하는 양상을 나타내고 있다.

Table. 7에서는 PPD(Predicted Percent Dissatisfaction) 값을 나타내었으며, 하계와 동계 모두 10%를 초과하여 최대 26%로 나타났다.

## 4. 효율화 개선 방안

본 연구를 통해 측정한 식물가공공장의 실내 환경이 측정 상태로 오랜시간 지속될 경우 공장내 근로자들의 건강을 위협하고, 작업능률성이 떨어질 가능성이 클 것으로 예상된다. 동·하계 측정시 작업시간 중 휴게실에서 교대로 휴식을 취하는 약 10여명의 근로자에게 실시한 인터뷰 결과 하계의 경우 큰 온도차로 인한 냉방병증상을 호소하였다.

고농도의 CO<sub>2</sub> 노출로 인해 TWA기준 범위 안에 있지만 오랜기간동안 근로자들이 노출되어 두통을 호소하는 것으로 나타났다. 현재 작업장에서 근로자의 착의량은 동·하계 평균 0.6clo로 평가되었는데 개선 방안으로는 위생을 위해 비닐소재의 얇은 작업복을 착용하고

작업을 하는데 조금 더 두꺼운 작업복으로 교체하는 것으로 근로자들의 열쾌적 확보에 도움이 될 것으로 예상된다.

본 연구의 대상 식물공장의 경우, 저온상태를 유지·관리하기 위해 실내공기를 연속적으로 순환하는 방식을 사용하고 있다. 따라서 열교환기 설치를 하여 신선외기를 도입 근로자들이 고농도의 CO<sub>2</sub>에 노출되는 것을 방지할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 재배실에서 가공 식물 반입시 유입이 되는 CO<sub>2</sub>는 신속하게 개폐가 가능한 자동문설치와 에어커튼등의 설치로 세척 및 탈수공간과 포장작업공간으로 유입되는 CO<sub>2</sub>를 줄일 수 있을것으로 예상된다.

재배실과 작업공간은 각 공간의 특성에 맞추어 공조할 수 있도록 독립된 환기 및 공조 시스템을 적용하는 것이 필요하다.

## 5. 결 론

본 연구를 통해 식물 가공공장의 실내 공기 환경과 열환경 특성을 파악하여 기초 데이터를 확보하고자 하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 수평온도 측정결과 동계의 경우 평균 약 14℃를 유지하였으며 하계의 경우 약16℃의 온도를 나타내었다. 동계와 하계 평균 15℃ 전후의 온도를 유지하는 것으로 나타났다.
- (2) 수직온도의 측정결과 측정위치가 상부측이 온도 변화폭이 낮게 나타났으며, 작업영역인 1.5m의 경우 변화폭이 다소 늘어났지만, 작업자의 인체발열에 의한 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.
- (3) 각 실별로 실내의 열화상 측정 결과, 각 실별로 식물은 약 10℃의 온도를 유지하였으며 실내 온도도 식물공장 적정 유효온

- 도 범위 13℃~16℃를 유지를 하고 있었다.
- (4) 급기구 및 배기구의 온도분포는 급기구(A1~A9,C1~C9)의 경우 동계·하계 12.3℃~15.7℃의 온도로 급기를 하였으며, 배기구(D1)의 경우 동계·하계 14.2℃~16.3℃의 온도로 배기를 하였다. 동계와 하계의 습도는 최소65%~최대86%를 유지를 하고 있었으며, 공장내 실내 적정 습도는 유지를 하는 것으로 나타났다.
  - (5) 각 실별 CO<sub>2</sub> 농도 분포 측정결과 세척 및 탈수공간에서는 최소 2209ppm ~ 최대 3059ppm으로 측정되었으며, 포장 작업공간에서는 최소 3327ppm ~ 최대 4917ppm으로 나타났다.
  - (6) 실내온열 쾌적성 검토 결과 여름철과 겨울철 PMV 모두 ISO-7730 쾌적기준인 -0.5 < PMV < +0.5를 만족시키지 못하였으며, PPD또한 10%를 작업시간 모두 초과하는 것으로 나타났다.

다음과 같은 결과를 볼 때, 현장 측정된 식물공장의 실내 환경이 측정 상태로 오랜시간 지속될 경우 공장내 근무자들의 건강을 위협하고, 작업능률성이 떨어질 가능성이 클 것으로 예상된다. 그리고 약 10여명의 근로자에게 인터뷰를 통해 하계의 경우 큰 온도차로 인한 냉방병 호소와 고농도의 CO<sub>2</sub>가 TWA 기준 범위 안에 있지만 약4100ppm의 고농도 CO<sub>2</sub>노출로 인해 두통을 호소하는 것으로 나타났다.

따라서 본 측정을 바탕으로 근무자들이 작업하는 저온의 영역과 고농도의 CO<sub>2</sub>를 효과적으로 배출시키면서 작업영역에서의 쾌적한 공간으로 전환될 수 있는 각 작업실별 환기 및 공조 시스템의 개발이 필요하다.

## 후 기

1. 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.(NO.213C000482)
2. 본 논문은 2013년도 태양에너지학회 추계학술발표대회에 발표된 ‘식물가공공장 열 및 공기환경 특성 파악을 위한 현장실측에 관한 연구’의논문의 내용을 기초로 하여 작성되었음.

## Reference

1. Heo, J.W. et al, Effect of Light-Quality Control on Growth of *Ledebouriella seseloides* Grown in Plant Factory of an Artificial Light Type, Korean Journal of Environmental Agriculture ,Vol. 32, No. 3, pp. 193~200, 2013
2. Kim, H.K. et al, Management System of Agricultural Products Information Using RFID, Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering Vol. 16, No. 5, pp. 1071-1076, 2012
3. [http://www.kma.go.kr/weather/observation/past\\_cal.jsp](http://www.kma.go.kr/weather/observation/past_cal.jsp) , 2013.
4. <http://www.law.go.kr/>
5. [http://www.gap.go.kr/jsp/BizGap/ServiceInfo2/ServiceInfo2\\_01.jsp](http://www.gap.go.kr/jsp/BizGap/ServiceInfo2/ServiceInfo2_01.jsp), 2011.
6. Caldwell, C.R., Britz, S.J., Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of greenhouse-grown leaf lettuce (*Latuca sativa* L.) cultivars, Journal of Food Composition and Analysis , Vol. 19, No. 6-7, pp. 637-644, 2006.
7. Cha, M.Y., Kim, J.S., Cho, Y.Y., Growth response of lettuce to various levels of EC and light intensity in plant factory, Journal of Bio-Environment Control, Vol. 21, No. 4, pp. 305-311, 2012
8. Khattak, A.M., Pearson, S., Light quality and temperature effects on antirrhinum growth and development, Journal of Zhejiang University Science B, Vol. 6, No. 2, pp. 119-124, 2005
9. Hirai, T., Amaki, W., Watanabe, H., Effects of monochromic light irradiation by LED on the internodal stem elongation of seedlings in eggplant, Shokubutsu Kankyo Kogaku. Vol. 18, No. 2, pp. 160-166, 2006
10. Qin, L., Guo, W.A., Tang, Y., Selection of candidate salad vegetables for controlled ecological life support system, Advances in Space Research. Vol. 41, No. 5, pp. 768-772, 2008