

RADCAD™를 이용한 PDP용 Panel 가열 시스템 해석

김옥중* · 홍용주* · 박영선**

Analysis of Heating System for PDP Panel Using RADCAD™

Ook Joong Kim, Yong-ju Hong and Young-sun Park

Key Words: RADCAD™, PDP(Plasma Display Panel), Radiation(복사), Shape Factor(형상계수)

Abstract

Analysis of radiation heating system for producing 60" size PDP panels was carried out using RADCAD™ software. Optimum arrangement of infrared heating elements was found to obtain uniform temperature distribution in PDP panel during heating. Heating capacity of each heater was determined to obtain an appropriate maximum panel temperature. Parametric study to find the effect of design parameters such as the thermophysical and optical properties of glass and cooling system was carried out. As a reference system, about 35 kW heating capacity was chosen to obtain about 800 K maximum panel temperature after 30 minute heating. The maximum temperature difference in panel was below 20 K. The maximum/minimum and its difference in the panel were very sensitive to the variation of the emissivity of glass and cooling block.

1. 서 론

정보 통신과 인터넷의 발달에 힘입어 TV나 컴퓨터용의 CRT가 LCD(액정표시장치), PDP(플라즈마 디스플레이 패널)등으로 개편되는 평판 디스플레이 시대가 전개되고 있다. 이 중에서 PDP는 브라운관이나 LCD가 지니고 있는 화면 크기의 한계를 극복하는 최적의 대상으로 각광을 받고 있으며 CRT의 대체 상품으로 급부상하고 있다.⁽¹⁾ PDP는 투명 전극, 버스 전극 및 유전체층 등이 형성되어 있는 전면 기판과 데이터 전극, 격벽 및 형광체층이 형성되어 있는 후면 기판을 서로 봉착하여 배기를 하고 제논 등의 가스를 주입하는 복잡한 공정을 거쳐 완성된다.⁽¹⁾ 이와 같은 PDP 제조 공정에서 전면 기판과 후면 기판을 접

합하여 배기하고 플라즈마 가스를 주입하는 봉착/배기 공정은 장시간이 소요되어 PDP 양산에서의 최대 bottle neck이 되고 있다.⁽²⁾ 따라서 PDP 양산체제의 선두에 있는 일본을 비롯하여 우리나라에서도 소요 시간을 최소화 할 수 있는 PDP 봉착/배기 장비 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.⁽³⁾ 현재 이와 같은 노력의 일환으로 한국기계연구원에서는 60"급의 PDP를 봉착/배기 할 수 있는 시스템 개발을 수행하고 있으며 그 방법으로는 두 기판을 진공 시스템 내에서 봉착하는 시스템 개발을 추진하고 있다.

본 연구는 이러한 진공형 PDP 봉착/배기 시스템의 설계와 제작을 위해 필요한 가열 시스템의 최적화에 관하여 다루었다. 즉 원하는 패널의 최대 온도를 얻기 위한 적외선 히터의 배열과 용량을 결정하고, 패널의 온도 분포를 균일하게 얻을 수 있는 가열 시스템을 AUTOCAD™를 이용한 복사 열전달 전용 코드인 RADCAD™⁽⁴⁾를 적용하여 구한 결과를 보였다. 설계의 최적화를 위하여 수치적 수렴 관계를 살펴보았으며, 주요 설계 변수의 변화에 따른 패널의 온도 분포와 최

* 한국기계연구원 열유체환경연구부
Email : ojkim@kimm.re.kr
TEL:(042)868-7326 FAX:(042)868-7335

** 금오공과대학교 기계공학과 대학원

대 온도 등에 대한 영향을 조사하였다.

2. 시스템 구성 및 해석 방법

2.1 시스템 구성

본 연구에서 고려한 60"급 PDP 봉착/배기 장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 그림에 나타난 바와 같이 가열 시스템은 진공 챔버를 형성하는 냉각 블록과 가열 히터 및 전면과 배면 기판용 유리로 구성되어 있다. 히터가 장착되는 냉각 블록의 크기는 가로와 세로가 각각 1800 mm, 1200 mm이며 두께는 25 mm로서 물 혹은 공기로 냉각하는 것으로 설정하였다. 전면과 배면 기판용 유리는 가로와 세로의 크기가 각각 1440 mm, 834 mm이며 두께는 2.8 mm이다. 가열 히터로는 진공 시스템에 이용이 가능하고 불순 가스 등의 배출이 없는 할로겐 램프이며 Fig. 2에 보인 바와 같이 가로 배열과 세로 배열의 경우를 고려하였다. 할로겐 램프는 발열 소자인 텅스텐이 직경 10 mm의 수정관(quartz tube)으로 둘러싸여 있으며 길이는 600 mm인 것을 채용하는 것으로 가정하였다. 그림에 보인 바와 같이 가로 배열(Heater set-up(1))의 경우에는 500 W, 600 W 용량의 히터가 3열 11행으로 배치되어 있으며 전체 용량은 34.2 kW(=17.1 kW x 2)가 된다. 세로 배열(Heater set-up(2))의 경우에는 500 W 용량의 히터가 18열 2행으로 배치되어 있으며 전체 용량은 36 kW(=18.0 kW x 2)가 된다. 히터 사이의 간격은 두 배열 모두 100 mm로 두었다. 시스템의 구성 요소에 대한 열역학적 및 광학적 물성치는 Table 1과 같이 설정하였다. 표에서 유리의 물성치는 soda-lime 유리의 물성치로서 특히 열전도(k)는 다음과 같이 온도(T, °C)의 함수로 고려하였다.⁽⁵⁾

$$k(T) = 1.14 + 0.000624T \quad (1)$$

광학적 물성치로서 가장 중요한 표면의 방사율은 유리의 경우 파장의 함수로 알려져 있으나⁽⁶⁾ RADCAD™에서는 이를 고려할 수 없어 일정한 값을 사용하였다. 전면 기판의 경우에는 일정한 양의 적외선 투과가 가능한 것으로 가정한 반면

후면 기판의 경우 형성된 격벽 등으로 인해 적외선의 투과가 발생하지 않은 것으로 가정하였다. 냉각 블록이나 수정관에 대한 기타의 데이터는 참고문헌^(7,8)의 값을 이용하였으며 냉각 블록의 냉각에는 대류 열전달 계수 100 W/m²-K의 경계 조건을 사용하였다.

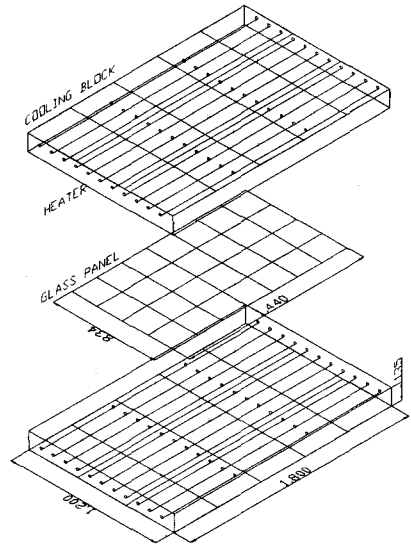
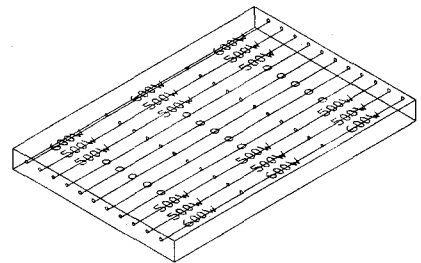
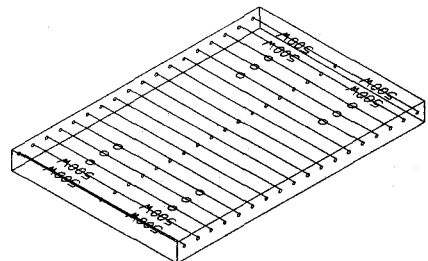


Fig. 1 Configuration of PDP heating system



(a) Heater set-up (1)



(b) Heater set-up (2)

Fig. 2. Arrangement of heaters

Table 1. Thermophysical and optical properties of each component

Component	Material	Density (kg/m ³)	Specific Heat (J/kg-K)	Thermal Conductivity (W/m-K)	Emissivity	Transmissivity
Cooling Block	Aluminum	2702	900	237	0.2	0
Heater	Quartz	2515	1240	0.78	0.9	0.1
Glass	Soda-lime	2515	1240	Eq. (1)	0.8	0.2(전면기판) 0(후면기판)

2.2 RADCAD™

본 연구에서 활용한 RADCAD™는 미국의 NASA에서 개발되어 우주선의 가열 및 냉각 시스템의 설계와 해석에 사용된 소프트웨어로서 AUTOCAD™ 및 NASA의 표준 열 시스템 해석 코드인 SINDA/FLUINT⁽⁹⁾와 연계하여 복잡한 형태의 복사 가열 시스템의 해석에 사용되고 있다. RADCAD™는 밀폐 공간에서의 복사 열전달 계산에 필수적인 형상계수(shape factor)와 복사교환 계수(radiation exchange factor)를 Monte-Carlo 방법⁽¹⁰⁾으로 구하며 해석 대상 시스템에 대하여 입력된 열역학적 및 광학적 물성치와 경계 조건을 활용하여 SINDA/FLUINT가 필요로 하는 입력 데이터 파일을 생성한다. SINDA/FLUINT는 확산 형태(diffusion type)의 지배 방정식을 가진 시스템을 집중정수(lumped parameter) 방법으로 해석하는 네트워크형태(network-style) 열전달 해석 소프트웨어로서 해석을 위한 네트워크 구성은 열 유동 경로인 conductor와 에너지가 보존되는 node로 이루어지며 최종적으로 resistor와 capacitor (R-C) 유사(analogy) 회로로 나타난다. 에너지 보존이 이루어지는 node 형태에는 질량과 비열의 곱으로 표현되는 확산(diffusion) node, 열원(heat source or sink)이나 이상적으로 제어되는 온도 조건을 나타낼 수 있는 경계(boundary) node, 복사차폐막(radiation shields)과 같이 에너지의 저장에 전혀 발생하지 않은 경계 조건의 표현이 가능한 산술(arithmetic) node의 세 가지가 있다. 열 유동 경로인 conductor에는 node간의 온도차에 선형적으로

비례하는 형태인 선형(linear) conductor와 절대 온도의 내제곱의 차에 비례하는 복사(radiation) conductor가 있다. 선형 conductor는 두 node간의 열전달이 전도 형태일 경우에는 다음과 같이 표현된다.

$$G_l = kA/\Delta x \quad (2)$$

위 식에서 k는 대상 물질의 열전도도이며, A와 Δx는 단면적과 두 node간의 거리를 각각 나타낸다. 대류나 접촉 열전달 형태일 경우의 선형 conductor는 다음과 같이 표현된다.

$$G_l = hA \quad (3)$$

위 식에서 h는 대류 열전달 계수 혹은 접촉 열저항의 역수를 나타낸다. 복사 conductor는 일반적으로 다음과 같이 표현된다.

$$G_r = \sigma \epsilon_1 F_{1-2} A_1 \quad (4)$$

위 식에서 σ는 Stefan-Boltzmann 상수(5.67x10⁻⁸ W/m²-K⁴)이며 ε₁은 node 1의 방사율(emissivity)을 나타낸다. 그리고 F₁₋₂와 A₁는 node 1과 2에 대한 복사 형상 계수와 node 1의 단면적을 각각 나타낸다. 복사 가열 시스템의 경우 식 (4)의 복사 conductor를 구하는 작업이 복잡하고 많은 시간을 요하게 되는데 RADCAD™는 이 작업을 효과적으로 수행한다.

3. 계산 결과 및 토의

3.1 기준 시스템 설정

기준 시스템 설정을 위하여 수치적 수렴 관계를 먼저 조사하였다. 복사 열전달 계산을 위한 형상 계수를 Monte-Carlo 방법으로 구할 때 복사선의 수(Ray number)는 많을수록 정확하나 막대한 계산 시간을 요한다. Table 2는 Heater set-up(2)의 경우에 대하여 복사선의 수를 변화시키면서 구한 전면 기관의 최대 및 최소 온도를 나타낸 것이다. 계산을 위하여 Fig. 1에 보인 바와 같이 전면 및 후면 기관에는 각각 28(=7 x 4)개의 node, 냉각 블록은 각각 15(=5 x 3)개의 node를 사용하였다. Table 2를 보면 복사선의 수가 10000개 이상일 경우 기관의 최대 및 최소 온도와 그 차이가 거의 같아지며, 20000개와 50000개의 경우는 차이가 매우 미미함을 알 수 있다. 따라서 이 후의 계산에서는 계산의 시간을 고려하여 20000개의 복사선을 사용하였다.

Table 3은 전면 및 후면의 유리 기관에 설정한 node수에 따른 계산 결과의 변화를 보인 것이다. 여기서 냉각 블록에 설정한 node수에 따라서도 계산 결과가 약간 변화하나 많은 계산 시간을 요하고 또한 개인 컴퓨터용으로 허용된 최대 node수(3000개)를 초과하여 Table 2의 경우와 동일하게 설정하였다. Table 3에서 알 수 있는 바와 같이 252(=21 x 12)개와 700(=35 x 20)개의 node수를 사용한 계산 결과는 서로 크게 차이가 없음을 볼 수 있다. 따라서 이후의 계산에서는 각각의 기관에 700개의 node를 설정하였다.

Fig. 3은 히터 가로 배열(Heater set-up(1))의 경우에 대한 계산 결과로서 30분 가열한 후의 전면 기관의 온도 분포를 보인 것이다.

그림에 보인 바와 같이 주어진 히터 용량과 배열에 따른 기관의 온도는 평균 800 K에 이르게 되며 기관 중앙부의 온도가 가장자리 부분에 비해 약간 높게 나타남을 알 수 있다. 이 때 기관에서의 최대 온도 차이는 그림 왼쪽에 보인 바와 같이 19.5 K였다. Fig. 4는 Fig. 3에 표시한 유리 기관의 특정 node에서의 시간에 따른 온도 변화를 보인 것으로 비정상 상태(약 10분 가열 전후)에서 유리 기관의 최대 온도차는 정상 상태에 비해 큰 약 50 K정도가 됨을 알 수 있다.

Table 2 Ray number dependence on the results

Ray Number	Maximum Temp. (K)	Minimum Temp (K)	Temp. Difference (K)
2000	808.9	797.7	11.2
10000	811.9	799.8	12.1
20000	811.7	800.7	11.0
50000	811.9	800.6	11.3

Table 3 Node number dependence on the results

Node Number	Maximum Temp. (K)	Minimum Temp (K)	Temp. Difference (K)
28(7x4)	808.9	797.7	11.2
252(21x12)	811.9	799.8	12.1
700(35x20)	811.7	800.7	11.0

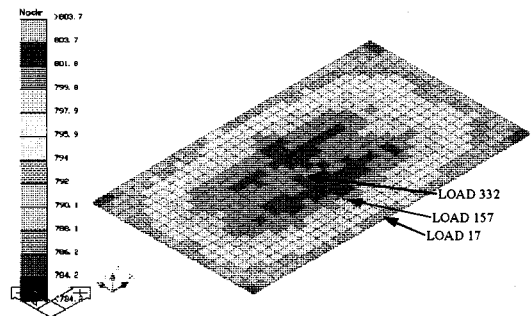


Fig. 3 Temperature distribution of glass panel - Heater set-up(1)

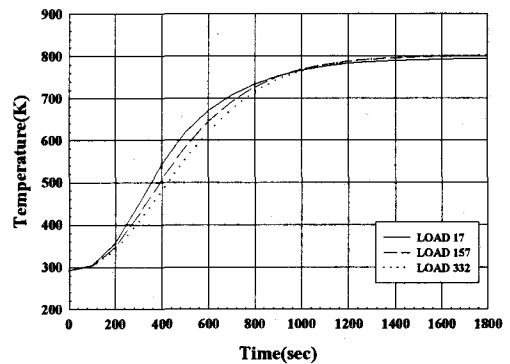


Fig. 4 Node temperature variation according to the time - Heater set-up(1)

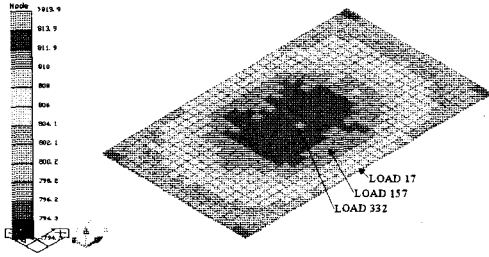


Fig. 5 Temperature distribution of glass panel - Heater set-up(2)

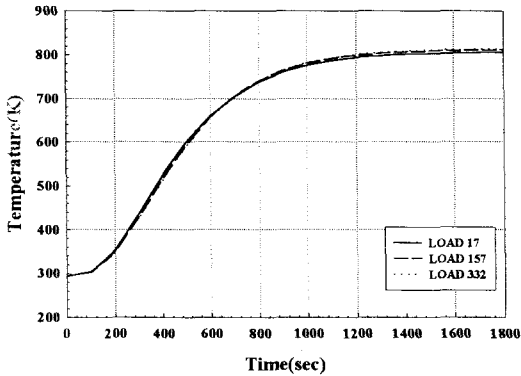


Fig. 6 Node temperature variation according to the time - Heater set-up(2)

Fig. 5와 6은 히터 세로 배열(Heater Set-up (2)) 경우에 대한 결과로서 약간 증가된 히터 용량으로 인해 기관의 평균 온도는 가로 배열의 경우에 비해 약 5 K 정도 높게 나타났다. 정상 상태에서의 온도차는 19.6 K로서 가로 배열의 경우와 유사하나 비정상 상태에서의 최대 온도차는 20 K 이하가 되어 가로 배열의 경우에 비해 양호한 것으로 나타났다. 위의 계산 결과를 토대로 히터 설치가 용이하고 비정상 및 정상 상태에서의 기관 온도 분포 균일성이 더 양호한 것으로 나타난 세로 배열의 경우를 기준 시스템으로 설정하고 다음의 주요 설계 변수의 변화에 따른 영향을 조사하였다.

3.2 주요 설계 변수의 변화에 따른 영향

기준 시스템으로 설정한 시스템에 대하여 유리 기관과 냉각 블록의 열역학적 혹은 광학적 물성

Table 4 Variation of glass panel temperature for various parameters

Parameter	Value	Maximum	Minimum	Temp.
		Temp.(K)	Temp.(K)	Difference (K)
Glass	1.0	805.6	787.5	18.1
	0.8*	813.9	794.3	19.6
Emissivity	0.6	824.3	802.3	22.0
	0.4	835.0	811.5	23.5
Aluminum	0.1	964.2	948.5	15.7
	0.2*	813.9	794.3	19.6
Emissivity	0.3	736.7	716.0	20.7
	0.4	686.1	664.4	21.7
Specific Heat of Glass (J/kg-K)	500	815.2	795.2	20
	1240*	813.9	794.4	19.6
Convection Heat Transfer Coefficient (W/m ² -K)	2000	805.8	789.2	16.6
	10	818.2	798.7	19.5
Emissivity	100*	813.9	794.3	19.6
	1000	811.2	791.7	19.5

* Reference case

치 및 경계조건의 변화에 따른 전면 기관의 온도를 계산하여 비교하였다. Table 4는 주요 변수로서 채택한 유리 기관 및 냉각 블록 재료인 알루미늄의 표면 방사율과 유리의 비열 및 대류 열전달 계수의 변화에 따른 전면 기관의 최대 및 최소 온도와 그 차이를 나타낸 것이다. 유리의 표면 방사율을 주요 변수로 채택한 이유는 봉착/배기 공정 이전의 몇 가지 공정으로 인해 표면 방사율과 투과율 등을 정확하게 알 수 없기 때문이다. 또한 냉각 블록의 방사율은 장비의 계속 사용으로 인해 표면의 상태가 변화할 수 있어 주요 변수로 채택하였다. 유리의 비열은 유리의 열역학적 변수 중에서 대표적인 것으로서 택했으며 대류 열전달 계수는 경계 조건으로서 물 혹은 공기의 냉각 방식을 서로 비교해 보기 알아보기 위하여 선택하였다.

표에서 알 수 있는 바와 같이 유리 및 냉각 블록의 방사율은 기관의 최대/최소 및 그 차이에 크게 영향을 미칠 수 있으며 특히 냉각 블록의 방사율에 따라 기관의 온도가 크게 달라짐

을 볼 수 있다. 이는 블록의 표면 방사율을 항상 작게 즉 방사율을 크게 유지하면 에너지 절약 측면에서 매우 유리함을 보여준다. 냉각 블록의 방사율에 비해 크지 않지만 유리 기관의 방사율 또한 기관의 온도 변화에 영향을 미치며 이것은 진공형 봉착/배기 시스템의 설계에 있어서 유리 기관의 광학적 물성치의 정확한 데이터 확보가 매우 중요함을 의미한다. 표에서 볼 수 있는 바와 같이 유리의 비열과 같은 열역학적 물성치 변화의 영향은 미미함을 알 수 있다. 경계 조건을 구성한 대류 열전달 계수의 변화에 따라서 유리 기관의 온도는 크게 변화하지 않으나 공기와 같이 낮은 대류 열전달계수($10 \text{ W/m}^2\text{-K}$ 경우)를 가정할 경우에는 Tabel 4에 나타내지 않았으나 냉각 블록의 온도가 최고 419.5 K ($1000 \text{ W/m}^2\text{-K}$ 의 경우 305.7 K)까지 상승하였다.

4. 결론

진공형 PDP 봉착/배기 시스템의 설계와 제작을 위해 필요한 가열 시스템의 최적화를 복사 열전달 전용 코드인 RADCAD^{TM(S)}를 적용하여 수행함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 60" PDP 패널을 30분 정도 가열하여 최대 800 K 까지의 온도 상승을 위해서는 약 35 kW 의 히터 용량이 필요하며 세로 배열이 설치의 용이성과 온도 균일성 면에서 유리한 형태임을 알 수 있었다. 이 때 비정상 및 정상 상태에서의 기관의 최대 온도 차이는 약 20 K 이하로 나타났다.

2) 유리 기관의 최대와 최소 및 그 온도 차이는 유리 및 냉각 블록의 표면 방사율에 따라 영향을 받으며 특히 냉각 블록의 표면 방사율을 낮게 유지하는 것이 바람직한 것을 알 수 있었다. 또한 봉착/배기 단계의 유리 기관에 대한 광학적 물성치 데이터의 확보가 중요함을 알 수 있었다.

3) 유리의 비열과 같은 열역학적 물성치와 대류 열전달 계수는 기관의 온도에 크게 영향을 미치지 않았으나 낮은 대류 열전달의 경우에는 냉각 블록의 온도가 419.5 K 까지 크게 상승하였다.

후기

본 연구는 산업기술연구회 지원으로 수행된 "PDP 양산기술 개발 사업 과제"의 일부임을 밝히며 이에 관계자 여러분께 감사를 드리는 바입니다.

참고문헌

- (1) 박화영, 신영재, 2000, PDP 개요 및 연구동향과 향후전망, *기계와 재료* 12, pp. 6~13.
- (2) 박화영 외, 2001, PDP 연구개발 현황 및 전망, 제 8회 산업기술연구회 세미나.
- (3) 제4회 차세대 평판표시장치 기반기술개발사업 Workshop, 1999, 한국디스플레이연구조합.
- (4) Thermal Desktop User's Manual Ver. 3.2, 2000, Cullimore and Ring Technologies, Inc.
- (5) Mann, D., Field, R. E. and Viskanta, R., 1992, Determination of specific heat and true thermal conductivity of glass from dynamic temperature data, *Warne und Stoffubertragung* 27, pp. 225~231.
- (6) Rubin, M., 1985, Optical properties of soda lime silica glass, *Solar Energy Materials* 12, pp. 275~288.
- (7) Holman, J. P., 1986, *Heat Transfer*, McGraw-Hill.
- (8) Lee, G. H. and Viskanta, R., 1998, Transient conductive-radiative cooling of an optical quality glass disk, *Int. J. of Heat and Mass Transfer* 41, pp. 2083~2096.
- (9) SINDA/FLUINT User's Manual Ver. 4.3, 2000, Cullimore and Ring Technologies, Inc.
- (10) Modest, M. F., 1993, *Radiative Heat Transfer*, McGraw-Hill, Chapter 19.