

# 부하경감(Derating)을 고려한 집적회로(IC)의 마진(Margin)에 대한 방안연구

박창수, 김종현, 여광재, 김형탁\*

\*주)휴니드테크놀로지스 R&D 연구소

e-mail:cspark@huneed.com, k8362p@huneed.com,  
yeokj@huneed.com, \*kimtak99@huneed.com

## The Korea Academia-Industrial Cooperation Society (Study on The Integrated Circuit of Margin Considering Derating)

Chang-Su Park, Jong-Hyoun Kim, Kwang-Jae Yeo, Hyung-Tak Kim\*  
Huneed Technologies Inc. R&D Center

### 요 약

설계방법에서 주요부품 “집적 회로(IC, Integrated Circuit)”의 스트레스를 분석하여 정격(Rating) 대비 낮은 소모전력으로 설계한다. 부하경감(Derating)은 미 국방 핸드북(MIL-HDBK -1547A) 적용하여 부품의 스트레스 파라미터(Parameter)의 접합온도(Junction Temperature), 전기적 부하 응력 비(Power Stress Ratio)등 제품의 발열 대책을 검토될 수 있도록 설계 반영하고, 부하경감(Derating)의 산출모델(Calculation Model) 예측으로 제품설계의 마진(Margin)등 최적화된 설계방안을 확보 할 수 있도록 연구 검토하였다.

### 1. 서론

설계방법으로 부품의 스트레스 온도(Temperature), 전압(Voltage), 전력(Power)등 고려하여 정격(Rating)보다 낮은 설계를 적용하여 신뢰성 예측분석, 부하경감설계(Derating Design), 발열 감소 설계, FMEA 분석 등을 고려하여 부품을 선정한다.

부하경감설계(Derating Design)는 최적화 설계가 구현되도록 정격(Rating)의 마진(Margin)을 고려한 집적회로(IC)를 선정하고, 제품의 운용시간 연장 및 고장시간 단축하여 신뢰성 높은 제품을 개발하는 데 목적이 있다.

#### 1.1 연구범위

본 논문에서는 부하경감(Derating)에 대한 방법은 제조사에서 제공하는 데이터 북을 기반으로 정격등급보다 낮은 스트레스(Temperature, Voltage, Power)로 설계에 적용하는 방안을 검토하였다.

미 국방 핸드북(MIL-HDBK -1547A) 규격 기반으로 집적회로(IC) 부하경감 변수 (Derating Parameter) 적용 범위는 접합온도(Junction Temperature), 전기적 부하 응력 비( Power Stress Ratio)에 대한 설계에 대한 마진(Margin)을 고찰하였다. [2]

### 1.2 관련 기준

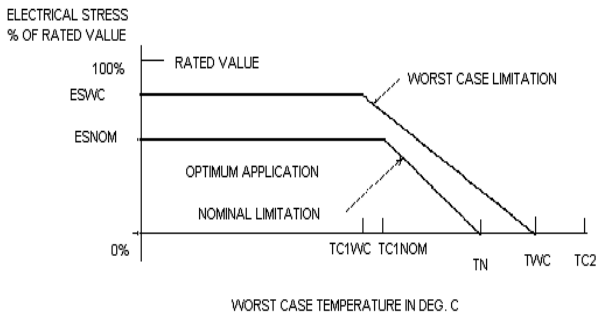
부하경감(Derating)과 고장률( $\lambda$ ) 예측분석으로 최적화된 설계를 위한 분석기준으로 “전자 장비의 신뢰도 예측을 위한 부품“ (MIL-HDBK-217F) 와 부하경감(Derating) 산출모델(Calculation Model)로 ”시스템의 설계, 개발 제작에 대해 부품, 재료 및 프로세스“(MIL-HDBK-1547A)를 기준 적용한다.

[표 1] Calculation Model

Calculation Model	내용
MIL-HDBK-217F	- 전자 장비의 신뢰도 예측을 위한 부품의 고장률 계산 방법으로 부품수량 분석법 (PCM, Parts Count Method), 부품 부하 분석법 (PSA, Part Stress Analysis) 분석 방법을 제시하고 Prediction 제공[1]
MIL-HDBK-1547A	- 부하경감(Derating Model)로 시스템의 설계, 개발 제작에 대해 부품, 재료 및 프로세스에 대한 방안을 제공하여 제품의 신뢰성을 높이기 위한 기준 제시[2]

### 1.3 부하경감(Derating) 소개

미 국방 핸드북(MIL-HDBK-1547A) 프로세스 개발 및 양산 단계 간의 부하경감설계(Derating Design)을 통해 주요요소들의 변수(Parameter), 정상상태(Nominal Case), 비정상상태(Worst Case)에 대한 마진(Margin) 설계를 적용[2]



[그림 1] Typical Electrical Stress vs. Temperature Derating Scheme[2]

- TC1 : Case Temperature above which applied electrical stress should be reduced. Unless otherwise specified, TC1 (worst case) is the same as TC1 (nominal)
- TC2 : Maximum allowable Case Temperature per detailed specification, based on the part design.
- $T_N$  : Nominal boundary limitation. Typically  $T_N = T_{WC} - 10\text{ }^\circ\text{C}$ . Other temperature deltas may be given in the detail specification.
- $T_{WC}$  : Worst case thermal boundary. Typically  $T_{WC} = TC2 - 30\text{ }^\circ\text{C}$
- $ES_{NOM}$  : Maximum steady state or average operating electrical stress
- $ES_{WC}$  : Worst case electrical stress, including electrical transient and radiation effects
- 100 % : Maximum rated value per detailed specification

부하경감 설계과정에서  $ES_{NOM}$ ,  $ES_{WC}$  등 고려하여 주요부품 집적회로(IC)를 적용한다.

## 2. 본론

제품설계 과정에서 주요부품을 선정하고, 부하경감 변수(Derating Parameter) 적용하여 집적회로(IC)를 선택 시 접합온도(Junction Temperature) 전기적 부하 응력 비(Power Stress Ratio)에 대한 마진(Margin)을 고려하여 설계에 적용한다.

또한, 체결류, 기구품(Housing, Frame), 기계부품은 발열 감소 설계 방안을 고려하여 설계에 적용한다.

본 논문에서는 부품 수명을 증가를 위한 방법으로 제조사에서 권장 정격(Rating)보다 낮은 정상상태(Nominal Case)를 검토하였고, 기구품(Housing, Frame)은 발열 대책은 검토대상에서 제외하였다.

미 국방 핸드북(MIL-HDBK-217F) 프로세스의 카테고리별 [표2. Darating Parameter]와 같이 Logic, CGA or ASIC에서 Other까지 11가지의 집적회로(IC, Integrated Circuit) 유형을 기준으로 분석을 적용 하였다.

### 2.1 분석절차

미 국방 핸드북(MIL-HDBK-217F) 프로세스에서 아래 그림과 같이 절차로 분석을 진행한다. 분석절차에 고장률( $\lambda$ )

높고, 스트레스에 취약한 부품은 검토하여 재설계 반영토록 피드백한다.



[그림 2] 분석절차[3]

### 2.2 부하경감 변수(Darating Parameter)

집적회로(IC) 계열의 부하경감 변수(Darating Parameter)에 대한 정상상태(Nominal Case), 비정상상태(Worst Case)의 마진(Margin)을 미 국방 핸드북(MIL-HDBK-1547A) 기준을 적용한 전기적 부하 응력 비(Power Stress Ratio), 접합온도(Junction Temperature) 대하여 다음과 같이 제안하고 있다.[2]

[표 2] Darating Parameter, IC

Category	Components		Power Stress Ratio		Temperature Junction(°C)	
	Sub-Category		Nom	Worst	Nom	Worst
Integrated Circuit	1	Logic, CGA or ASIC	0.8	0.9	105	125
	2	PAL, PLA	0.8	0.9	105	125
	3	Microprocessor	0.8	0.9	105	125
	4	Memory	0.8	0.9	105	125
	5	EEPROM	0.8	0.9	105	125
	6	VHSIC/VLSI CMOS	0.8	0.9	105	125
	7	GaAs MMIC	0.8	0.9	105	125
	8	GaAs Digital	0.8	0.9	105	125
	9	Bubble Memory	0.8	0.9	105	125
	10	Linear	0.75	0.85	105	125
	11	Other	0.8	0.9	105	125

### 2.3 집적회로의 부하경감

DC 입력 전원 0 ~ 3.6 V에 동작하는 회로설계 시 집적회로에 동작 특성에 따라 트랜지스터, 다이오드, 저항, 커패시터 등 다양한 형태의 설계에 적용된다. 부하경감의 파라미터(Parameter)로 전기적 부하 응력 비(Power Stress Ratio), 접합온도(Junction Temperature) 을 마진(Margin)을 고려하여 설계한다.

#### 2.3.1 전기적 부하 응력 비(Power Stress Ratio)

전기적 부하 응력 비는 제조사에서 제공하는 데이터 북을 기준으로 Operating Stress와 Maximum Rating을 분석하여

소모전력(Power Dissipation)의 범위를 예측할 수 있다.

$$Power\ Stress\ Ratio = \frac{Operating\ Stress}{Power\ Dissipation} [W][1]$$

Operating Stress는 실제로 부품에 인가되는 전압으로 입력 IDD(Supply current) 따라 P<sub>INT max</sub>가 변화에 따라 소모전력(PD, Power Dissipation) 변동된다.

$$PD_{max} = P_{INT\ max} + P_{I/O\ max} [W][1]$$

[표 3] 소모전력(PD)

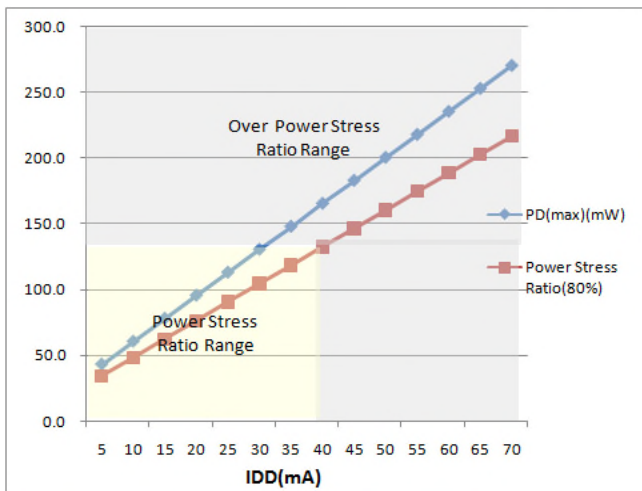
IDD [mA]	VDD [V]	PINT max	IOL (mA)	VOL (V)	I/O (max)	PI/O max	PD (mW)
5	3.5	17.5	8	0.4	8	25.6	43.1
10	3.5	35.0	8	0.4	8	25.6	60.6
15	3.5	52.5	8	0.4	8	25.6	78.1
20	3.5	70.0	8	0.4	8	25.6	95.6

전력 소모 디레이팅 요구조건은 정상상태(Nominal Case) 부하율 80%이며, 접합온도 정상상태(Nominal Case) 요구조건 +105°C를 초과 하지 범위에서 부하전류 조건은 5 ~ 95 mA 가정하여 예측하였다.

[표 4] 집적회로의(IC)의 부하전류

IDD [mA]	PD (mW)	TJ(max) (°C)	Power Stress Ratio(80%)	비고
5	43.1	25.2	34.5	만족
10	60.6	35.6	48.5	
15	78.1	46.2	62.5	
20	95.6	56.9	76.5	
25	113.1	67.8	90.5	
30	130.6	78.9	104.5	
35	148.1	90.2	118.5	
40	165.6	101.6	132.5	
45	183.1	113.2	146.5	불만족
50	200.6	125.0	160.5	
55	218.1	137.0	174.5	
60	235.6	149.1	188.5	
65	253.1	161.5	202.5	
70	270.6	173.9	216.5	

부하전류에 따라 소모전력(Power Dissipation)은 부하전류가 40mA 일 때 접합온도(ΔTJ) 역시 만족하는 것으로 예측된다.



[그림 3] Power Stress Ratio Range

요구조건은 정상상태(Nominal Case) 80 % 적용 시 부하전류는 40 mA 범위 내로 소모전력은 165.6 mW이고, 디레이팅을 적용하여 132.5 mW 이내로 검토하였다.

### 2.3.2 접합온도(Temperature Junction)

접합온도(Temperature Junction)는 전력 소모에 비례하여 증가 되며 열저항 주의온도(Junction to Ambient Thermal Resistance)도 증가 됨을 알 수 있다.

$$TJ = TA + (\theta_{JA} \times PD) [°C][1]$$

- TA : Ambient temperature [°C]
- $\theta_{JA}$  : The Package Junction to Ambient Thermal Resistance [°C/W]
- PD : P<sub>INT max</sub> + P<sub>I/O max</sub> [W]

제조사에서 제공하는 열저항 주의온도(Junction to Ambient Thermal Resistance)는  $\theta_{JA}$  46 °C/W 가정하에 소모전력 및 집적 회로(IC) 주변의 외기온도(TA, Temperature Ambient)가 부품 소자의 내부 접합온도(Temperature Junction)의 영향을 주고, 외기온도(TA) 높을수록 집적회로(IC)가 사용 가능한 소비전력이 낮아지는 것을 확인하였다.

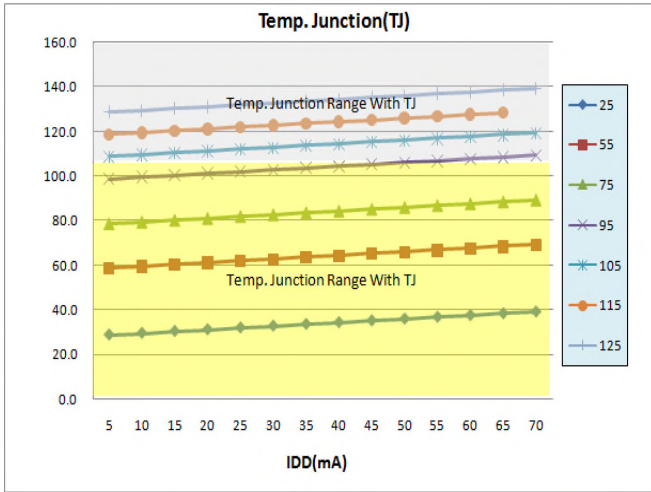
즉, 부하전류 5 ~ 95 mA 이내 증가 시 외기온도(TA) 변화에 따라 접합온도(Temperature Junction)의 디레이팅 정상상태(Nominal Case) 가능한 범위를 검토하였다.

부품의 최대 접합온도(TJ) 125 °C이고, 정상상태(Nominal Case) 디레이팅 조건이 105 °C 일 때, 부하전류 40 mA, 외기온도(TA) 95 °C일 때 온도가 104.4 °C로 만족하는 것을 확인하였다.

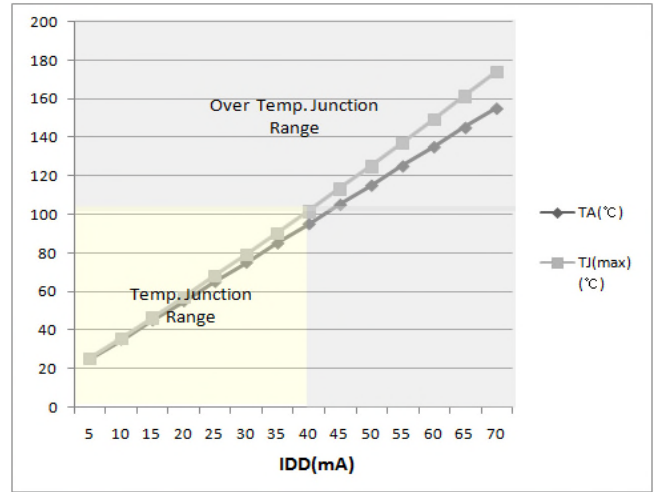
[표 5] TJ(Temperature Junction)

IDD [mA]	TA[°C]						
	25	55	75	95	105	115	125
5	28.7	58.7	78.7	98.7	108.7	118.7	128.7
10	29.6	59.6	79.6	99.6	109.6	119.6	129.6
15	30.4	60.4	80.4	100.4	110.4	120.4	130.4
20	31.2	61.2	81.2	101.2	111.2	121.2	131.2
25	32.0	62.0	82.0	102.0	112.0	122.0	132.0
30	32.8	62.8	82.8	102.8	112.8	122.8	132.8
35	33.6	63.6	83.6	103.6	113.6	123.6	133.6
40	34.4	64.4	84.4	104.4	114.4	124.4	134.4
45	35.2	65.2	85.2	105.2	115.2	125.2	135.2
50	36.0	66.0	86.0	106.0	116.0	126.0	136.0
55	36.8	66.8	86.8	106.8	116.8	126.8	136.8
60	37.6	67.6	87.6	107.6	117.6	127.6	137.6
65	38.4	68.4	88.4	108.4	118.4	128.4	138.4
70	39.2	69.2	89.2	109.2	119.2	129.2	139.2

부하전류 40 mA 일 때 외기온도(TA) 25 °C 조건이면 1 °C 상승 시 약 1.37 °C/W 상승하고 외기온도(TA) 95 °C 조건에서는 약 1.09 °C/W 상승한다. 즉 접합온도(Temperature Junction) 및 외기온도(TA, Temperature Ambient) 상승 시 사용 가능한 소모전력이 낮아진다.



[그림 4] TJ Range with TA



[그림 5] Over Temp, Junction Range

제조사에서 제공하는 열저항 주의온도  $\theta_{JA}$  46 °C/W 가정 하에 부하전류 40 mA이고 일 때, 외기온도 95 °C까지 부품 성능

범위를 확인하였고, 정상상태(Nominal Case)의 디레이팅 105 °C 범위인 접합온도(TJ)는 101.6 °C로 내에 만족하는 것을 확인하였다.

[표 6] Over Temp, Junction with TA

IDD [mA]	TA(°C)	TJ(max)(°C)	Power Stress Ratio(80%)	비고
5	25	25.2	34.5	만족
10	35	35.6	48.5	
15	45	46.2	62.5	
20	55	56.9	76.5	
25	65	67.8	90.5	
30	75	78.9	104.5	
35	85	90.2	118.5	
40	95	101.6	132.5	불만족
45	105	113.2	146.5	
50	115	125.0	160.5	
55	125	137.0	174.5	
60	135	149.1	188.5	
65	145	161.5	202.5	
70	155	173.9	216.5	

### 2.4 집적회로 부품선정

집적회로(IC) 부품선정 시 입력 전원(0 ~ 3.6 V)에 동작하고, 부하전류(5 ~ 95 mA)로 부하전류는 40 mA, 외기온도 95 °C 까지는 접합온도(TJ) +101.6 °C로 부하경감 정상상태(Nominal Case) 조건 +105 °C 이하를 만족함을 확인하였다.

외기온도(TA) 25 °C 조건에서는 1°C 상승 시 소모전력 약 1.37 °C/W로 소모하고, 외기온도(TA) 95 °C 이상 조건에서는 소모전력보다 높은 발열로 인하여 별도의 경감대책을 마련하는 설계 검토가 필요할 것으로 판단된다.

### 3. 결론

본 논문에서는 부하경감설계(Derating Design) 미 국방 핸드북(MIL-HDBK-1547A)를 적용하여, 부품의 스트레스 파라미터(Parameter)인 접합온도(Junction Temperature), 전기적 부하 능력 비(Power Stress Ratio)를 정상상태(Nominal Case) 부하율 80 %, 접합온도(TJ) 105 °C를 검토하였다.

그 결과 집적회로(IC) 부하전류(5 ~ 70 mA), 외기온도(TA) (25 ~ 125 °C)을 적용하여 분석하였고, 접합온도(TJ) 정상상태(Nominal Case) 부하경감설계(Derating Design)는 부하전류 (5 ~ 40 mA)이고, 외기온도(0 ~ 95 °C)조건 일 때 접합온도 (TJ) +101.6 °C로 접합온도(TJ) 105 °C이하 를 만족한 것을 확인 할 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] Reliability Prediction of Electronic Equipment, MIL-HDBK-217F, pp 3-24, 1990
- [2] ELECTRONIC PARTS, MATERIALS, AND PROCESSES FOR SPACE AND LAUNCH VEHICLES, MIL-HDBK-1547A, pp 103-104, 1998
- [3] 방위사업청, 무기체계 RAM 업무지침&업무편람, 11-1690000-0022014-12 pp 27-29, 2018