고장물리 기반 수중 매설형 PBA에 대한 신뢰성 설계 연구

김지영^{1†} · 이기원¹ · 윤홍우¹ · 이승진¹ · 허준기¹ · 권형안²

¹LIG넥스원㈜, ²㈜엑슬리트엣지

Reliability Design Analysis for Underwater Buriend PBA Based on PoF

Ji-Young Kim^{1†} • Ki-Won Lee¹ • Hong-Woo Yoon¹ • Seung-Jin Lee¹ Jun-Ki Heo¹ • Hyeong-Ahn Kwon²

¹LIGNEX1, ²ExleetEdge

Purpose: PBA buried in underwater requires high reliability because of its mission critical characteristic and harsh operational environment during its life cycle. Therefore, various reliability improvement activities are necessary. The defect on PBA manufacturing process have been studied, as a result, many activities and standards have been presented. However, there are less studies regarding failure pattern on physical features based on design. In this paper, we studied a possible failure pattern based on physical features that is related with manufacturing process of PBA. And reliability improvement design based on PoF (Physical of Failure) were intruduced in this paper.

Methods: A reliability prediction simulation were performed on the components A and B of the H system using Sherlock Software which is a PoF commercial tool from DFR solution. Solder fatigue and PTH fatigue analysis based on thermal cycling profiles and random vibration was analyzed on three earthquake response spectrum.

Result: It was validated that life time and reliability improvement design through solder fatigue and PTH fatigue analysis in case of component. For component B, random vibration fatigue was additionally analyzed and validated reliability for earthquakes profile.

Conclusion: In design stage prior to manufacturing, PoF can be analyzed, and it is possible to make a reliability improvement/validated design using design data. This study can be applied in every design step and contribute to make more stable development product.

Keywords: PoF(Physics of Failure), PBA(Printed Board Assembly), Solder Fatigue, PTH(Plated Through Hole) Fatigue, Sherlock

1. 서론

특정세력을 감시하기 위하여 해양 환경조건의 수 중에 매설하는 장비는 지정 해역의 넓은 영역을 감시 해야하고, 장기간 동안 지속적으로 동작해야한다. 체 계 특성 상 해저케이블을 매설할 수 있는 전용 특수 선박 및 매설 후 일반정비가 불가하다는 제한조건으 로 요구되는 수명동안 주어진 임무를 수행해야 한다

이러한사유로高신뢰성이 있는 매설형PBA(Printed Board Assenbly)를 설계/제작/시험해야 한다.

PBA 설계 과정에서 전자부품에 대한 Telcordia SR-332 규격으로 신뢰도 예측을 수행하고, 고장물리 관점에 서 신뢰성 예측을 수행하여 보드 내 취약한 부분을 식별 후 설계 반영하여 제작 이후 최대한 설계 변경 없이 요구되는 수명을 만족하는 결과를 도출하고자 한다.

우선적으로, 수중 매설형 보드 중에서 고장 시 치명 도/위험도를 분석하여 대상 보드를 선정하였다

물론, 수중 매설형 보드에 대해서는 다양한 기능/성 능시험 및 환경시험을 수행하지만 설계단계에서 사 전에 신뢰성 향상 활동을 위하여 DFR Solution 사의 Sherlock[1]을 적용하였다.



Fig. 1 Life Cycle Phases[2]



Fig. 2 Leverage in Product Design[3]

Sherlock은 설계단계에서 실제 전자부품이 없어도 PCB(Printed Circuit Board)와 적용될 전자부품간의 고 장물리(Physical of Failure, PoF) 기반에서 제작 후 문 제가 발생할 수 있는 부분을 설계단계에서 예측하여 신속하게 설계 대안을 제시하여 신뢰성을 예측할 수 있는 시뮬레이션 도구이다.

<Fig. 1>, <Fig. 2>와 같이 총 수명주기 비용관점에 서 설계단계에서의 노력이 제작 이후 비용을 절감할 수 있는 기회를 가지고 있다. 따라서, 설계단계에서 신뢰성을 고려한 이러한 노력은 매우 중요하다.

특히, PBA의 경우 설계 단계에서 고신뢰도 부품 선 정, 부품 표준화, 부품수 최소화, 정격감소 설계, 이중 화 설계, 열 해석/냉각 설계와 같은 신뢰성 향상 활동 이 수행된다.

그와 더불어 기술발전과 함께 PBA의 신뢰성은 상 당히 향상되었으며 트랜지스터, 저항과 같은 소자 레 벨에서의 신뢰성은 제조업체의 기술 발전 품질 향상 활동 및 검증 시험 등을 통해 신뢰성이 입증된 부품 사용이 가능하게 되었고 설계 기술의 발전으로 과부 하와 같은 고장 요소는 사전에 배제되어 설계되고 있 는 상황이다.

실제 현장에서 발생하는 PBA의 고장 유형을 살펴 보면 제조 공정 상의 불량에 의한 고장이나PBA의 구 조적 특징으로 수반되는 고장인 경우가 대부분이다 제조 공정 상의 불량에 대해서는 프로세스별 세부 작 업 기준 준수 및 품질검사를 통해 제조업체 중심으로 품질을 향상하려는 노력을 수행하고 있으나 구조적 특징에 따른 고장의 경우 기능/성능 설계에 기준한 것 으로 그 내용이 구성품마다 상이할 수 있으며 신규 개발되는 제품의 경우 예측이 어려운 경우가 많다. 이 와 관련하여 최근 GM, 보잉, 테슬라와 같은 해외 업 체에서는 구조적 특징에 따른 고장을 사전에 예방하 고 줄일 수 있는 고장물리 기반 신뢰성 분석을 중요시 하고 있으며 관련업체에 이를 수행할 것을 요구하고 있는 실정이다. 최근 국제 기준 규격 정의를 위한 활 동들도 진행되고 있다.

우리나라의 경우 PBA 제조 공정 프로세스가 구체 적으로 세워져 있으며 각 단계별 작업표준서 및 품질 성적서 등을 통해 사전에 불량에 의한 고장을 예방하 고 있다. 하지만 구조적 특징에 따른 고장의 경우 실제 품 제작 전 시험품 시험을 통해 확인하고 있는 경우가 많다. 시험품 제작 및 시험에 많은 비용 및 시간이 소요 되기 때문에 제한적으로 수행되는 것이 사실이다.

따라서, 본 논문에서는 PBA에 대해 고장물리 예측 기반 신뢰성을 분석하고자 한다. 고장물리 예측 기반 신뢰성 예측 시뮬레이션인 Sherlock을 활용하여 분석 대상품의 수명을 예측하고 신뢰성 설계입증 방안을 검토하였다. 실제 제품 제작 전 설계단계에서 시뮬레 이션을 통해 대안별 비교 검토 및 단계별 수행이 가능 하므로 더 의미가 있다고 볼 수 있겠다.

2. PBA 공정 절차 및 고장 유형

2.1 PBA 공정 절차[5]

PBA는 PCB Assembly를 의미하는데, PCB는 전자 부품 단자를 연결, 고정시키는 회로 기판으로 플라스 틱 재질인 페놀 수지 또는 에폭시 수지와 같은 전기 절연성 기판 표면 또는 그 내부에 전기설계를 근거로 하여 IC(집적회로), 저항 등 각종 전자소자를 집결, 배 열시키고 도체 연결로(패턴)을 형성시킨 전자보드를 말한다. PBA는 PCB 기판에 SMT(Surface Mounter Technology)를 통해 전자 소자가 실장된 조립체를 말 하다.

PBA의 일반적인 제조 공정은 내층 회로 형성 적층, 드릴, 도금, 외층 회로 형성, 인쇄 공정(PSR), 표면처리, 외형가공, 부품실장으로 구분된다. PBA 공정 절차는 목적 및 장비 특성에 따라 달라질 수 있으며 일반적은 PBA의 제조 공정 예시는<Fig. 3>과 같다.

2.1.1 적충

적층은 PREPREG 재단, LAY-UP을 거쳐 가열, 가 압에 의해 PREPREG를 용융, 경화시켜 동박 및 내층 CORE를 부착하여 다층의 기판을 형성하는 과정을 말한다.



Fig. 3 PBA manufacturing process example

2.1.2 Drill

Drill은 다층 PCB에 있어서 내층과 외층 간의 전기 적인 접속을 할 수 있도록 하며, 부품 및 기구물에 제 품을 삽입할 수 있도록 Drill Bit라는 절삭 공구를 사 용하여 Hole을 가공해 주는 것을 주목적으로 하는 공 정이다.

2.1.3 도금(Plating)

도금은 PCB 층간의 전기적 접속을 목적으로 드릴 된 Hole 위에 금속을 도금하는 공정이다.

2.1.4 회로 형성

회로 형성은 회로인쇄, 노광, 현상, 부식과 같은 절차 를 통해 회로 패턴을 형성하는 일련의 절차를 통칭한다.

2.1.5 인쇄 공정

인쇄 공정(PSR, Photo Solder Resist)은 물리, 화학적 환경 하에서 내구성을 갖는 불변성 화합물인 불변성 잉크를 도금된 동박 회로 상에 코팅함으로써 회로를 보호하고 부품 실장 시 발생 가능한 solder bridge(땜 납 걸침)을 방지하기 위해 실시하는 공정이다. 제품 코드, 부품 번호 등의 식별자를 기판상에 인쇄하는 공 정도 포함한다.

2.1.6 표면 처리

회로 형성 및 인쇄 완료 후 패턴 보회/절연을 위한 표면처리가 이루어진다.

고온 공기 분사기로 땜납 평준화 작업, 전기적 특성 을 고려한 금 도금, 열로부터 동의 산화를 방지하기 위해 실시하는 내열 표면 처리가 이 단계에 해당한다.

2.1.7 외형 가공

고객이 요구하는 사양으로 PCB 외형을 가공한다.

2.1.8 부품 실장

Solder paste print, 부품실장, reflow soldering으로 세 분되는 부품 실장 절차를 통해 전자 소자를 PCB 기판 에 실장한다.

2.2 PBA 공정상의 불량에 의한 고장 유형

각 절차별 공정 특징 및 사용 원자재에 따라 공정

완료 제품의 신뢰성에 상당한 영향을 미친다. 본 연구 에서는 주요 고장 유형만을 명시한다[5, 6].

2.2.1 적충

적층 과정에서 Blister, Delamination, Crazing, Measling 과 같은 불량 유형이 발생 가능하여 그 내용은 <Table 1> 과 같다.

2.2.2 Drill

Drill 과정에서는 주로 연마부주의, Bit의 자체 문제, 취급부주의로 인한 홀 경 틀림, 편심, Burr, 미관통과 같은 현상이 발생 가능하며 그로 인한 고장 유형은 <Table 2>와 같다.

Table 1	Main	failure	patten	on	laminated	layer
---------	------	---------	--------	----	-----------	-------

Туре	Description
Blister	Partially lifted or swollen on the layer of laminated material or between the material layer and the copper foil
Delamination	Separation between insulation layer or inner/outer layer
Crazing	Isolation of epoxy and glass or glass and
Measling	glass (depending on the cause, measling is caused by thermal shock and crazing is caused by physical shock)

Table 2 Main failure patthen on Drill

Туре	Description
Roughness of inner hole	Roughness of inner hole after hole processing. If the inner hole is rough, it may cause the plaint thickness to be insufficient and the plating connection strength to be insufficient.
Smear	The resin is attached to the conductor re- presentation of the inner layer softened by the cutting frictional heat during drilling, which causes poor conductivity and adhesion to the plating.
Nail Head	Occurs in the inner layer of the multipayer product due to wear of the drill bit. The copper layer of the inner layer of the hole processed region is like a nail head shape.
Wicking	In the insulating layer in the hole, the plating solution penetrates to the glass fiber contained in the PREPREG inside the hole.

Table 3 Main failure patthen on Plating

Туре	Description				
No plating	No plating by the foreign material due to poor surface treatment.				
Discolor	It is caused when washing by contaminated water in the washing step.				
Surface roughness	Occurs when surface treatment is not accurate due to acid and chemical treatment mistakes.				
Poor hole plating	Poor hole plating due to imperfect desmear or insertion of air inside				

2.2.3 도금

도금 과정에서 발생 가능한 불량 유형은 <Table 3> 과 같다.

2.3 PBA 구조적 특징에 따른 고장 유형

제2.1절에서 설명된 바와 같이 PBA 제작에는 여러 단계별 공정이 필요하며 공정절차에 기반한 구조적 특징 분석이 가능하다.

2.3.1 Solder Fatigue

소자를 PCB 기판에 올리는 과정에서 서로 다른 두 물질인 소자와 PCB 기판 사이 Solder Joint(접합)이 이 루어지게 되는데 다른 비율을 가지고 팽창과 수축을 하는 두 물질을 기계적, 전기적으로 연결해주는 역할 을 한다. 서로 다른 두 물질의 팽창과 수축의 차이는 solder의 응력을 야기하며 변형이 클수록 solder의 응 력이 증가하여 solder joint에 crack이 발생하게 된다.

2.3.2 PTH Fatigue

PTH(Plated Through Hole)는 내, 외층 간 도통 접속 을 하기 위하여 홀벽에 금속(주로 Cu)으로 도금되어 진 Hole을 말한다. 이와 관련된 고장 유형은 PTH 벽 을 형성하는 구리 도금의 갈라짐이 있다.

IPC-TR-579 Model에 따르면 PCB가 열사이클링을 경험할 때 Z-축 방향의 팽창과 수축은X-Y 평면에 비 해 매우 크다. 이 때문에 큰 스트레스가 구리로 도금된 PTH에 쌓이게 되고 절단면에서 보여지는 것처럼 Hole 중간 근처에서 갈라짐이 발생한다. 이는 구리도 금(~17ppm/℃)과 인쇄회로보드의 면 외 CTE(out-ofplane CTE~70ppm/℃)와의 팽창 차이에 의해 발생한다

3. 수중 매설형 PBA 고장물리 예측

3.1 일반사항

3.1.1 분석 조건

Sherlock은 고장물리 예측 기반 신뢰성 예측 시뮬레 이션 상용 툴로서 설계자료를 토대로 분석대상품을 모델링하여 필요 결과를 도출한다. 이를 위해서는 분 석 기준이 되는 조건들을 가정할 필요가 있다 먼저, 제2.2절에서 설명한 PBA 제조 공정 상의 불량에 의한 고장은 배제하는 것으로 가정한다. <Table 4>의 Class 3과 같이 고신뢰성 전자제품에 해당하는 작업성 및 신뢰성으로 제작된 것으로 간주한다.

Table 4 Classification of Products[4]

Class type		Class requirements
Class 1	General Electronic Products	Include consumer products, some computer and computer peripherals, as well as general military hardware suitable for applications where cos- metic imperfections are not important and the major requirement is func- tions of the completed printed board or printed board assembly.
Class 2	Dedicated Service Electronic Products	Includes communications equipment, sophisticated business machines, in- struments and military equipment where high performance and extended life is required, and for which unin- terrupted service is desired but is not critical. Certain cosmetic imperfec- tions are allowed.
Class 3	High Reliability Electronic Products	Includes the equipment for commer- cial and military products where con- tinued performance or performance on demand is critical. Equipment downtime cannot be tolerated, and must function when required such as for life support items, or critical weap- ons systems. Printed boards and print- ed board assemblies in this clss are suitable for applications where high levels of assurance are required and service is essntail.

Item	Description		
Layout	Layour of pars in board		
Board stackup	Each layer and material composition of PCB board		
Laminated material	Laminate material properties		
Pick and place	Location for circuit or component		
file	connections within board		
Mounting	Mounting number, location, method		
configuration			
Heatsinking	Heat handling method		
Bill of material	Part number/manufacturer,		
(BOM)	physical specifications		
Stiffness	Support strength and shape of parts		
TS/PTC	Deviced test measurement date		
Characterization	Physical test measurement data		
Drill	Drill information for eacy layer		

또한, 원하는 분석의 운용 환경 프로파일을 설정해 야 한다. 실제 운용 환경을 고려하되, 상대적 기대 수 명 예측 및 개선 사항 도출을 위해서는 실제 운용 환 경보다 가혹한 조건으로 분석할 필요가 있다

3.1.2 설계자료 입력 및 모델링

Sherlock을 활용한 분석을 위해서는<Table 5>와 같 이 상세한 설계자료가 필요하다. 보드 내 부품의 레이 아웃뿐 아니라 stackup, 재질 및 드릴 정보 등을 통해 설 계 내용을 3D 모델링화하고 모델링 자료를 기반으로 필요한 피로 해석 모델을 적용하여 분석을 수행한다

3.2 H 체계 A 구성품 고장물리 기반 신뢰성 예측 시뮬레이션 결과

3.2.1 분석대상 개요

H 체계 구성품 중 A 조립체는 각종 전자 소자로 구 성된 회로카드조립체이다. 저항. 커패시터 등의 수동

Layer	Туре	Material	Thickness	Density	CTExy	CTEz	Exy	Ez
1	SIGNAL	COPPER (43.2%) / COPPER-RESIN	0.5 oz	4.8672	36.003	36.003	50,804	50,804
2	Laminate	Generic FR-4	61.57 mil	1.9000	17.000	70.000	24,804	3,450
3	SIGNAL	COPPER (56.8%) / COPPER-RESIN	0.5 oz	5.8328	31.597	31.597	65,696	65,696

Fig. 4 Stakup imformation of component A

 Table 5 Required data list for Sherlock analysis



Fig. 5 3D image of component A



Fig. 6 Thermal cycling profile

소자와 TR, Diode, IC 등의 능동소자로 이루어져 있다. 3D 이미지 및 Stackup layers 정보는 <Fig. 4>, <Fig. 5> 과 같다.

3.2.2 분석 기준 설정

H 체계는 해저에 매설되어 운용되는 체계로서 실 제 운용환경에서의 온도 변화는 크지 않다 하지만 일 반적으로 고온 및 온도변화에 민감한 전자 보드의 특 성을 고려하여 MIL-STD-810G에서 제시하는 군수품 의 온도관련 설계기준 -32℃~+42℃ 구간을 <Fig. 6> 과 같은 온도 프로파일로1일 1회 24시간 운용되는 것 으로 설정하였다.

3.2.3 Solder Fatigue 분석

부품에 접합된 솔더부의 thermal cyling 피로 해석 을 수행하였다. solder fatigue 분석 결과 고장율 1% 기 준 기대수명 12.6년 예측되었다(<Fig. 7> 참조).



Fig. 7 The expected life time under solder fatigue analysis

Table 6 The difference on solder fatigue analysis

pad size	0.8x1.3mmm ²	1.0x1.5 mmm ²
0806	12.6 years	15.7 years
0603	18.3 years	19.2 years

분석결과로 도출된 기대수명에 소자별 영향도를 검토한 결과 조립체 구성품 중 저항에 대해 상대적으 로 낮은 기대수명이 도출되었다. 저항은 해당 분석대 상품에서 상대적 위험요소로 분류될 수 있으며 따라 서 저항의 기대수명을 높이기 위한 개선방안을 검토 하였다. 가능한 방안으로는 동일 성능의 부품 변경 및 Pad 크기 변경이 있다.

일반적으로 소자 패키지의 사이즈가 작아질수록 온도 변화에 따른 솔더부 변형의 정도가 감소하고 솔 더에 걸리는 스트레스를 줄여주며, 패드 사이즈 증가 시에는 스트레스의 분산 효과로 그에 따른 기대수명 은증가하게 된다.

도출된 개선사항에 따른 기대 수명 효과는 <Table 6>과 같다. 참고로, 위의 개선 사항은 분석 대상품인 A 조립체의 저항에 해당하는 Chip Component(CC) 패 키지 타입에 해당하는 내용으로 패키지별로 다르게 도출될 수 있다.

3.2.4 PTH Fatigue 분석

도금된 through hole의 thermal cycling fatigue 분석 을 수행하였다. 분석결과 고장율 1% 기준 기대수명은 10.25년인 것으로 분석되었다(<Fig. 8> 참조).

기대 수명을 높이기 위한 개선 방안으로는 through hole의 지름 및 도금 두께 변경이 도출되었으며 그에



Fig. 8 The expected life time under PTH fatigue analysis

PTH size PTH plating thickness	0.33mm	0.45mm	0.6mm	
20 <i>µ</i> m	10.2 years	11.1 years	12.3 years	
30 <i>µ</i> m	12.9 years	15.3 years	17.1 years	

Table 7 The difference on PTH fatigue analysis

따른 기대 수명 향상 효과는 <Table 7>과 같다. 이는 보드가 Z축 방향으로 수축/팽창하려는 성질을 구리 통이 일종의 리벳(rivet) 역할을 하는 것이므로 구리 도금 두께 증가로 동일 스트레스 대비 잘 견딜 수 있 게 하는 것이다.

3.3 H 체계 B 구성품 고장물리 기반 신뢰성 예측 시뮬레이션 결과

3.3.1 분석대상 개요

H 체계 구성품 중 B 조립체는 각종 전자 소자로 구 성된 회로카드조립체이다. 저항, 커패시터 등의 수동 소자와 TR, Diode, IC 등의 능동소자로 이루어져 있다. 3D 이미지 및 Stackup layers 정보는 <Fig. 9>, <Fig. 10>과 같다.



Fig. 9 3D image of component B

3.3.2 분석 기준 설정

H 체계는 해저에 매설되어 운용되는 체계로서 앞 서 설명한 바와 같이 실제 운용환경에서의 온도 변화 는 크지 않으나 지진과 같은 진동에 대한 신뢰성 입증 이 필요하다. 따라서 B 구성품의 경우 지진 프로파일 에 대해 추가적으로 분석하였다. 온도 프로파일의 경 우 A 구성품과 동일한 프로파일을 적용하였으며 지 진 프로파일의 경우 국내 지진환경을 고려하여 제 3.3.4절과 같이 3가지로 분석하였다.

3.3.3 Solder Fatigue/PTH Fatigue 분석

부품에 접합된 솔더부 및 도금된 through hole의 thermal cyling 피로 해석 분석 결과 해당 설계 조건에 서는 매우 안정적인 결과를 보임을 확인하였으며 고 장율 1% 기준 기대수명 15년을 상회하며 추가 개선 사항은 없는 것으로 도출되었다. 이는 고품질의 PCB 원자재 적층(laminate)의 영향이큰 것으로 판단된다. B 구성품의 Stack-up 정보를 보면 사용된 원자재 FR-4 (Isola 185HR)의 경우 CTExy 값이 14ppm/℃이다(<Fig. 10> 참조). CTE(Coefficient of Thermal Expansion)는 보 드의 열팽창계수를 의미하며 작을수록 안정적이라 고 볼 수 있다. A구성품의 경우 CTExy 값이 18ppm /℃이었던 것 대비 B구성품은 고 품질의 원자재를 사 용하였으며 그로 인해 thermal cycling 피로 해석 분석 결과 별도의 개선사항은 없는 것으로 확인된다.

Layer	Туре	Material	Thickness	Density	CTExy	CTEz	Exy	Ez
1	SIGNAL	COPPER (79.1%) / COPPER-RESIN	0.0175 mm	7.4161	24.372	24.372	90,114	90,114
2	Laminate	185HR	0.12 mm	1.9000	14.000	40.000	25,993	3,450
3	POWER	COPPER (89.2%) / COPPER-RESIN	0.035 mm	8.1332	21.099	21.099	101,174	101,174
4	Laminate	185HR	1.2 mm	1.9000	14.000	40.000	25,993	3,450
5	SIGNAL	COPPER (85.1%) / COPPER-RESIN	0.035 mm	7.8421	22.428	22.428	96,684	96,684
6	Laminate	185HR	0.12 mm	1.9000	14.000	40.000	25,993	3,450
7	SIGNAL	COPPER (89.6%) / COPPER-RESIN	0.0175 mm	8.1616	20.970	20.970	101,612	101,612

Board Thickness: 1.545 mm [60.8 mil]

Fig. 10 Stakup imformatin of component B

3.3.4 Random Vibe 분석

(1) 고유 주파수 도출

진동에 따른 고장 매커니즘의 경우 진동주파수와 대상품과의 공명 현상에 의해 발생되므로 분석 대상 품의 설계자료를 토대로 고유진동수를 도출하여 국 내 지진환경에 대한 신뢰성을 검토하였다.

보통 지진과 같은 진동의 경우 주파수 범위는0~ 50Hz이며 분석 대상품의 고유 주파수의 경우<Fig. 11>과 같이 이를 상회하는 값을 가지는 것으로 분석 되었다. 즉, 전형적인 저주파 양상을 갖는 지진 대비 충분히 신뢰성 있게 설계된 것으로 보인다.

(2) 지진 프로파일 설정

먼저, 국내 원전 발전소에서 분석한 4가지 원전 지 역의 UHS(Uniform Hazard Spectrum) 중 가장 가혹한 월성 원전 지역의 지진 프로파일을 적용하였다(<Fig. 12> 참조). 지진 환경은 30초 주기, 100 cycles, z-축 방 향진동으로 가정하였다.



Fig. 11 Natural frequency analysis







Fig. 13 Site-specific response spectrum for Korean unclear power plant site[7]



Fig. 14 Telcordia GR-63-Core earthquake spectrum for four risk zone[8]

두 번째로, 고리 원전을 기반으로 개발된 국내 원전 의 확률적인 내진위험평가의 기준으로 활용되고 있 는 고리 SSRS(Site-Specific Response Spectrum)에 대 해 분석하였다(<Fig. 13> 참조). 지진 환경은 30초 주 기, 100 cycles, z-축 방향 진동으로 가정하였다.

마지막으로, 국제 표준 규격 중하나인 Telcordia GR-63-Core에서 제시하고 있는 통신용 장비에 대한 기준을 적용하였다. Telcordia GR-63-Core에서는 지 진 진동에 대한 기준을 Earthquake Risk Zone 0~4로 구분하여 미국 전역을 대상으로 지역별로 제시하고 있다. 한국의 단층과 가장 유사한 캘리포니아에 해당 하는 zone 4를 적용하여 분석하였다

(3) Random vibe 분석 결과

3가지 지진 프로파일에 대해 모두 고장율 1% 기 준 기대수명 15년 이상을 만족하는 것으로 분석되 었다.



Fig. 15 The expected life time under random vibe analysis

4. 결 론

본 연구에서는 PBA 제조 공정 절차에 근거한 고장 유형들에 대해 살펴보고, PBA 구조적 특징에 따라 발 생가능한 고장 영향에 대해 Sherlock을 활용하여 고장 물리예측을 수행하였다. H 체계 구성품에 대해 Solder Fatigue, PTH Fatigue 및 Random vibe에 대해 분석하여 설계 개선 사항을 도출하고, 신뢰성 있게 설계됨을 입 증하였다. 이와 같은 신뢰성 예측 시뮬레이션은 설계 초기 단계부터 단계별 수행 가능한 방안으로 효율성 및 경제성이 뛰어나다고 볼 수 있다. 설계개선 사항이 도출된 구성품의 경우 상대적으 로 위험요소라고 판단된 항목들에 대한 설계개선사 항은 분석 대상품별, 분석 기준별로 그 결과는 상이할 수 있다. 추후 다양한 구성품에 대한 연구가 더 필요 하다고 판단된다.

References

- [1] http://www.dfrsolutions.com.
- [2] Cranwell, R. M. and Hunter, R. L. (1997). Architectural Design for Reliability.
- [3] Harry, M. and Schroeder, R. (1999). Six Sigma, Doubleday.
- [4] IPC-2221A(2003). "Generic Standard on Printed Board Design".
- [5] Chang, D. G. (2012). "PCB main process and technology".
- [6] Lee, S. I., Shin, S. W., and Ko, D. S. (2013). "A Study on Failure pattern in PCB Manufacturing Process". Journal of The Society of Convergence Knowledge Transactions, Vol. 2, No. 1.
- [7] Choi, I. K., Masato Npakajima, Choun, Y. U., Yasuki Ohtori (2009). "Development of the site-specific uniform hazard spectra for Korean nuclear power plant sites".
- [8] Telcordia GR-63-Core Issue 3 (2006). section 4.4 & 5.4.