


1차년도 주요 결과물

(과제명) 대규모 분산 에너지 저장장치 인프라의 안전한 자율
운영 및 성능 평가를 위한 지능형 SW 프레임워크 개
발

(과제번호) 2021-0-00077

- 결과물명 : 이상 감지 및 수명 예측 관련 SW 안전 요소
분석
- 작성일자 : 2021년 12월 22일

과학기술정보통신부 SW컴퓨팅산업원천기술개발사업
“1차년도 주요 결과물”로 제출합니다.

수행기관	성명/직위	확인
슈어소프트테크(주)	심정민 / 이사	

정보통신기획평가원장 귀하

목 차

1. 개요	3
1.1 기후 위기 속 국내 탄소 중립 정책	3
1.2 국내 중립 정책에서 에너지저장장치(ESS) 구축 당위성	5
1.3 국내 에너지저장장치 화재 발생	6
2. 에너지저장장치 안전 기준 강화	9
2.1 SW 기능안전이란	9
2.2 에너지저장장치의 구성 요소	11
2.3 시스템의 자원관리를 통한 이상 감지	12
2.4 에너지저장장치의 위험요소	13
2.5 BMS의 시스템 리소스 관리	14
3. 결론	17

<표 차례>

표 1 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안('21.10)	3
표 2 한국전력 계절별·시간대별 구분	5
표 3 재생에너지 연계 ESS 설비 현황	6
표 4 연도별 ESS 설치 현황	6
표 5 ESS 화재 발생 리스트	7
표 6 소프트웨어 안전개발 적용단계	10
표 7 지락전류에 따른 차단장치 동작시간	14

<그림 차례>

그림 1 2021년 바뀐 전기요금고지서 샘플	4
그림 2 소프트웨어 안전개발	9
그림 3 소프트웨어 안전개발 생명주기	10
그림 4 ESS 시스템 구성	11
그림 5 윈도우의 리소스 모니터	13
그림 6 윈도우의 리소스 모니터	13
그림 7 CodeAnayst 프로파일러	15
그림 8 GLIWA T1 타이밍 톨	15
그림 9 슈어소프트테크 PROV	16
그림 10 슈어소프트테크 PROV	16
그림 11 BMS의 시스템 자원사용량 모니터링	16

1. 개요

1.1 기후 위기 속 국내 탄소중립 정책

얼마전 대통령은 COP26 정상회의에서 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC)를 상향하여 2018년 대비 40%의 온실가스를 감축하겠다고 발표하였다. 종전 목표보다도 14% 상향한 과감한 목표이다. 짧은 시간 온실가스를 감축해야하는 어렵고 매우 도전적인 과제가 될것으로 예상된다.

현 정부 출범 이후 석탄발전소 여덟 기를 조기 폐쇄했고, 올해 말까지 추가로 두기를 폐쇄할 예정이다. 그리고 2050년까지 모든 석탄발전을 폐지한다고 한다. 이미 국내 신규 석탄발전소 허가를 중단했으며 지난 4월, 신규 해외 석탄발전에 대한 공적금융 지원도 중단했다고 정부는 발표했다.

(단위: 백만톤CO₂eq)

구분	부문	기준연도('18)	기존 NDC (‘18년 대비 감축률)	NDC 상향안 (‘18년 대비 감축률)	주요 감축방안
배출량*		727.6	536.1 (△26.3%)	436.6 (△40.0%)	
배출	전환	269.6	192.7 (△28.5%)	149.9 (△44.4%)	석탄발전 축소, 신재생에너지 확대 등
	산업	260.5	243.8 (△6.4%)	222.6 (△14.5%)	철강 공정 전환, 석유화학 원료 전환, 시멘트 연·원료전환 등
	건물	52.1	41.9 (△19.5%)	35 (△32.8%)	제로에너지 건축 활성화 유도, 에너지 고효율 기기 보급, 스마트에너지 관리
	수송	98.1	70.6 (△28.1%)	61 (△37.8%)	친환경차 보급 확대, 바이오디젤 혼합률 상향 등
	농축수산	24.7	19.4 (△21.6%)	18 (△27.1%)	논물 관리방식 개선, 비료사용 저감, 저메탄 사료 공급 확대, 가축분뇨 질소저감 등
	폐기물	17.1	11 (△35.6%)	9.1 (△46.8%)	폐기물 감량 및 재활용, 바이오 플라스틱 확대 등
	수소	-	-	7.6	수전해 수소 기술개발·상용화 지원, 부생/해외수입 수소공급 확대
	기타(탈루 등)	5.6	5.2	3.9	
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-22.1	-26.7	지속가능한 산림경영, 바다숲·도시녹지 조성
	CCUS	-	-10.3	-10.3	
	국외감축**	-	-16.2	-33.5	

* 기준연도('18) 배출량은 총배출량, '30년 배출량은 순배출량(총배출량 - 흡수·제거량)

** 국내 추가감축 수단을 발굴하기 위해 최대한 노력하되, 목표 달성을 위해 보충적인 수단으로 국외 감축 활용

표 1 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안('21.10)

바야흐로 기후협약 이후 이제는 탄소중립¹⁾을 강조하는 시대가 도래하였다.

동화 속 북극곰 이야기 정도로만 생각되었던 기후위기 대응을 이젠 우리집 전기요금으로 체감하는 시대가 왔다.

산업통상자원부는 2021년 1월부터 원가연계형(연료비연동제) 전기요금 최계로 개편한다고 작년 12월 발표하였다. 기존에는 매년 12월이 되면 직전 1년치의 평균연료비를 계산해 전기요금에 조정된 값을 반영해왔다면 올해부터는 전기요금에 연료비 변동분이 반영되고, 주택용 전기요금에도 계절별/시간별 선택요금제가 도입이 된다. 매 분기마다 연료비 변동분(실적연료비-기준연료비)을 전기요금에 반영한다. 여기서 실적연료비는 직전 3개월간 평균 연료비이며 기준연료비는 직전 1년간

1) 탄소중립은 대기중 온실가스 농도가 더 이상 증가되지 않도록 순 배출량이 0이 되도록 하는 것이다.

평균 연료비이다.

또한, 에너지저장장치(ESS) 할인은 2021년 1월부터 적용하는 '기본요금 1 배 할인'특례를 계절별 지정 피크 시간(3시간)에 방전 시 추가 인센티브를 제공하는 방향으로 개선하고 정부 권고에 따라 가동을 중단한 사업장은 ESS 손실보전위원회에서 추후 인정하는 기간 동안 기존 할인특례를 연장 한다는 내용이다.

이제는 석탄과 석유,액화천연가스(LNG) 등 화석연료의 가격변동에 따라 전기요금이 오르락 내리락 할수 있다. 이에 따라 2021년 올해는 분기마다 전기요금이 오른다는 기사가 연이어 나오고 있다.

올해 1월부터 시행되었지만 1분기 전기요금은 1.6% 내렸었다. 코로나19로 국제유가가 떨어졌기 때문인데 이후 상황이 달라졌다. 세계경제가 회복되면서 연료비가 크게 올랐다. 1년전에 비해 유엔탄은 39%, 액화천연가스는 72%, 유가는 54% 올랐다. 상승이 계속되던 2분기와 3분기에 정부는 코로나-19 사태로 인해 경제적 어려움을 겪고 있어 물가안정을 고려해 전기요금을 올리지 않았지만 4분기에는 전기요금을 kWh당 3원, 1.6% 올리기로 했다. 연료비연동제는 상한선이 있어서, 연료비가 아무리 올라도 1.6%, 3원까지만 올릴수 있다. 연료비 상한제없이 원래 계산대로라면 13.8 원을 올려야하지만 1분기에 1.6%가 내려갔다가 다시 1.6%가 올라가서 결국 작년과 같아졌다.

그림 1 2021년 바뀐 전기요금고지서 샘플. 한국전력공사



한국전력 사이버지점에서 “기후환경요금은 기존 전력량요금에 포함되어 있는 깨끗하고 안전한 에너지를 위해 소요되는 기후환경비용을 별도로 구분하여 표기청구함으로써 해당비용에 대한 투명성을 재고하기 위한 요금제도입니다.”라고 설명한다. 기후환경비용은 신재생에너지의무공급제도(RPS) 이행비용, 배출권거래제도(ETS) 이행비용, 석탄발전 감축비용으로 구성이 된다.

우리나라 뿐만아니라 미국, 독일, 일본 등 해외 주요국들도 국가에서 투명한 정보제공 및 깨끗하고 안전한 에너지 사용을 위한 소비자 기후환경요금을 운영하고 있다.
 이제는 전기요금고지서를 보면서도 탄소중립과 기후변화 대응을 생각할 때 인거 같다.

화석연료 비중을 줄이며 신재생에너지를 활용한 전기생산, 그리고 경부하시간대에 전기를 저장하여 최대부하때에 쓰게되면 탄소중립과 국제사회의 기후대응 목표에도 한걸음 다가간다고 생각된다.

1.2 에너지저장장치(ESS) 구축 당위성

탄소중립을 위해 필요한 에너지저장장치(ESS) 구축은 이제 선택이 아닌 필수라고 할수 있다.
 2050년 탄소중립 실현을 위해 신재생에너지 비중을 높이는 것은 전세계적인 추세이다.
 태양광·풍력과 같은 신재생에너지를 이용하여 생산한 전력을 저장하거나, 경부하 시간에 남는 전기를 저장하여 최대부하 시간대에 전기를 사용하게 되면 석탄에 의지하여 전기를 생산하는 양은 점차 줄어들수 있을거라고 기대가 된다.

계절별·시간대별 구분

계절 시간대	여름철 (6~8월)	봄·가을철 (3~5, 9~10월)	겨울철 (11~2월)
경 부 하	23:00~09:00	23:00~09:00	23:00~09:00
중간부하	09:00~10:00	09:00~10:00	09:00~10:00
	12:00~13:00	12:00~13:00	12:00~17:00
	17:00~23:00	17:00~23:00	20:00~22:00
최대부하	10:00~12:00	10:00~12:00	10:00~12:00
	13:00~17:00	13:00~17:00	17:00~20:00 22:00~23:00

표 2 한국전력 계절별·시간대별 구분

우리나라의 2차전지 기술력은 세계 최고 수준이다. 산업통상자원부에 따르면 지난해 기준 한국·중국·일본이 글로벌 이차전지 시장의 95%를 점유하고 있다. 점유율은 한국이 44.1%,중국 33.2%, 일본 17.4% 순이다. 에너지 밀도 등 전지 제조기술 수준은 3국이 유사하지만, 생산성(품질관리수준)은 한국, 가격(생산단가)은 중국이 다소 우위를 가지고 있다.

2017년부터 급격히 에너지저장장치(ESS)의 시장은 2018년 기준 누적 3.6GWh로 글로벌 시장의 1/3을 차지할 만큼 크게 성장했다. 이러한 성장 배경에는 REC 가중치 부여 및 특례요금제 등 정부의 지원이 큰 역할을 했다. 그러나 빠른 성장 과정에서 화재 이슈와 같은 해결해야 할 과제도 남겼다. 화재 이슈 이후 ESS 시장은 배터리 수급 불안정, 금융 투자 부재, REC 가격 폭락 등 계속해서 이어지는 혼란 속에 고사 직전에 놓여있다.

<재생에너지 연계 ESS설비 현황>

·RPS 등록설비 : '21년6월초 기준 RPS 등록 ESS 설비는 총 1,688개

·태양광연계 : RPS등록 태양광 연계형 ESS설비는 총 1,663개이며, PCS용량 1MW이상 설비는 524개임('21년 6월초 기준)

구분		'15년	'16년	'17년	'18년	'19년	'20년	합계
태양광 연계	설 치 개 소 (수)	-	-	49	569	389	656	1,663
	ESS 용량 (MWh)	-	-	112	1,400	953	2,888	5,353
풍력 연계	설치 개소 (수)	4	9	5	5	1	1	25
	ESS 용량 (MWh)	29	120	65	66	25	20	326

표 3 자료 한국전기산업진흥회 ESS 생태계 육성 통합 협의회, 재생에너지 연계 ESS설비 현황

<연도별 ESS 설치 현황>

구 분	~ '14년	'15년	'16년	'17년	'18년	'19년	'20년 (~7월)	합 계
사업장	71	118	72	258	973	476	405	2,373
배터리(MWh)	70	73	191	707	3,756	1,799	1,987	8,583

표 4 전기안전공사, 연도별 ESS 설치 현황

국회에 제출된 한국전기안전공사의 자료에 따르면, 전국에 설치된 전국 2,373개 ESS 사업장 가운데 436곳(18.4%)이 가동중단 상태에 있으며, 용도별 중단 현황을 보면 재생에너지 연계에서 태양광 28곳(23.1MWh), 풍력 2곳(1.5MWh)으로 총 30곳(24.6MWh)이 문을 닫았고 피크저감 373곳(406.6MWh), 비상발전등 33곳(131.1MWh)등 406곳(537.7MWh)이 폐쇄됐다.

1.3 국내 에너지저장장치 화재 발생

산업통상자원부는 2017년부터 2019년초까지 발생한 에너지저장장치(ESS)에 대해 '민관합동 ESS 화재사고 원인조사위원회'를 통해 ESS 화재사고 원인조사 결과를 공개했다.

다음은 2017년8월부터 2019년 10월까지의 ESS화재 발생 리스트이다.

No.	사고 일시	장소	배터리용량 (MWh)	운용 기간 (월)	배터리상태	설치 장소	용도	발화지점 / 비고
1	17.08.02	전북 고창	1.46	-	설치중(보관)	해안가	풍력 연계	리튬이온전지
2	18.05.02	경북 경산	8.6	22	수리 점검 중	산지	주파수 조정	배터리 추정
3	18.06.02	전남	14	29	수리 점검 중	산지	풍력 연계	배터리실 중앙 랙 추정

		영암						
4	18.06.15	전북 군산	18.965	6	충전 후 휴지 중	해안가	태양광 연계	ESS 설비 내부
5	18.07.12	전남 해남	2.99	7	충전 후 휴지 중	해안가	태양광 연계	배터리랙 2~3번 모듈
6	18.07.21	경남 거창	9.7	19	충전 후 휴지 중	산지	풍력 연계	랙 상단 1~2단의 모듈
7	18.07.28	세종	18	-	설치 중(시공)	공장지대	피크제어용	배터리 추정
8	18.09.01	강원 영동	5.989	8	충전 후 휴지 중	산지	태양광 연계	1~2번 랙 14모듈
9	18.09.07	충남 태안	6	-	설치 중(시공)	해안가	태양광 연계	배터리 추정
10	18.09.14	제주	0.18	48	충전 중	상업지역	태양광 연계	랙 상단 1~2단의 모듈
11	18.10.18	경기 용인	17.7	31	수리 점검 중	공장주변	주파수 조정	리튬이온전지
12	18.11.12	경북 영주	3.66	9	충전 후 휴지 중	산지	태양광 연계	배터리 내부
13	18.11.12	충남 천안	1.22	11	충전 후 휴지 중	산지	태양광 연계	배터리실 내부
14	18.11.22	경남 거창	4.16	11	충전 후 휴지 중	산지	태양광 연계	7번 랙
15	18.11.22	경북 문경	1.331	7	충전 후 휴지 중	산지	태양광 연계	3,4 번 랙으로 추정
16	18.12.17	충북 제천	9.316	12	충전 후 휴지 중	산지	피크제어용	배터리 랙
17	18.12.22	강원 삼척	2.662	12	충전 후 휴지 중	산지	태양광 연계	배터리실 내부 추정
18	19.01.14	경남 양산	5.22	14	충전 중	산지	피크제어용	배터리실 내부
19	19.01.14	전남 완도	3.289	10	충전 후 휴지 중	공장지대	태양광 연계	배터리실 내부
20	19.01.15	전북 장수	2.496	9	충전 후 휴지 중	산지	태양광 연계	8번랙 10~11번 모듈 추정
21	19.01.21	울산	46.757	7	충전 후 휴지 중	공장지대	피크제어용	64번랙 추정
22	19.05.04	경북 칠곡	3.66	-	충전 후 휴지 중	산지	태양광 연계	19년4월 배터리 교체후 재가동 이후 화재발생 SOC 96%
23	19.05.26	전남 장수	1.027	12	충전 후 방전 중	산지	태양광 연계	관할 소방서 미신고
24	19.08.30	충남 예산	1.54		화재시 충전율 93.5% 충전범위 0~95%		태양광 연계	배터리 단락 추정 저전압 및 이상 고온 신호 확인
25	19.09.24	강원 평창	18		화재시 충전율 98.0% 충전범위 0~100%	산지	풍력 연계	배터리 단락 추정 저전압 및 이상 고온 신호 확인
26	19.09.29	경북 군위	1.498		화재시 충전율 86.5% 충전범위 0~95%		태양광 연계	배터리 단락 추정 저전압 및 이상 고온 신호 확인
27	19.10.21	경남 하동	1.33		화재시 충전율 94.5% 충전범위 0~95%		태양광 연계	절연감시장치 분석 결과, 급격한 절연저항 감소 확인
28	19.10.27	경남 김해	2.26		화재시 충전율 92.2% 충전범위 0~95%		태양광 연계	배터리 단락 추정 저전압 및 이상 고온 신호 확인

표5 ESS화재 발생 리스트

앞서 2019년 민관합동 에너지저장장치(ESS)에 대한 화재 원인 조사 및 정부 발표가 있었다. 조사 결과에 따르면 사고 원인은 ○전기적 충격에 대한 배터리 보호시스템 미흡 ○운영환경 관리 미흡 ○설치 부주의 ○ESS 통합제어·보호체계 미흡 등 총 4가지로 파악됐다. 다만, 일부 배터리 셀(Cell)에서 제조상 결함이 발견됐고, 이 배터리를 가혹한 조건에서 장기간 사용하면 위험할 수 있다고 조사위는 설명했다.

국내에서 발생한 에너지저장장치(ESS)화재 대부분은 태양광연계형이고 배터리가 완전히 충전된 상태에서 발생했다. 민관합동위원회는 배터리 보호시스템과 운영관리·제어체계가 미흡했던 점과 설치상의 부주의 등이 주요 원인으로 지목됐다. 일부 배터리 제조업체의 제품에서는 제조상의 결함도 발견됐다.

1차 ESS 민관합동 조사단 화재 원인 발표 내용에서 화재원인으로는 전기적 충격에 대한 배터리 보호 시스템 미흡, 운영환경 관리 미흡, 설치 부주의, ESS 통합제어, 보호체계 미흡등 배터리 문제가 아닌 주변설비(BMS, PMS, 공사)를 문제로 지적하였다.

2차 ESS 민관합동 조사단 화재 원인 발표 내용은 2차 조사 4건 중 3건은 ESS 배터리 불량, 1건은 ESS 배터리와 차단기 사이 발화 발생이라는 결론을 내었으며 재발 방지대책으로는 충전을 제한 조치가 있었다. (SOC 실내 80%, 실외 90%)

그리고 정부의 안전대책 이후에도 에너지저장장치(ESS)는 화재가 발생하였다. 미인가로 SOC를 95%로 상향한 예산 태양광 ESS(19.8.30발생)과 해남 태양광 ESS(20.5.27발생)이 있으며, 배터리 보호기능이 작동하지 않은 평창 풍력 ESS(19.09.24발생), 만충상태서 방전대기중 배터리가 발화된 군위 태양광 ESS(19.09.29발생)과 김해 태양광 ESS(19.10.27발생)사고가 있다. 이외 경북 영천 태양광 ESS(21.03.11발생)과 홍성 태양광 ESS(21.04.06발생) 또한 태양광 모듈이 아닌 ESS의 배터리부터 시작된 화재였다. "화재발생 시간과 당시 배터리 상태도 유사한 경향을 보였다. 전체 31건 가운데 20여건의 화재 발생시간(소방서 신고기준)이 오후 4~8시에 몰려 있었다. 또 전체 화재 중 22건(70%)은 배터리가 가득찬 상태(완충)에서 방전을 앞두고 있다가 폭발하면서 불을 냈다. 배터리를 충전하거나 방전할 때 발생한 화재는 각각 1건에 불과했다. 배터리는 전력을 최대한 흡수한 완충상태일 때 가장 취약하다는 게 정설이다." "전체화재 ESS의 평균 가동월수는 16.7개월에 불과했고, 짧게는 상업운전한 지 6개월 밖에 안 된 새 설비가 불을 냈다. " (이투뉴스 참고)

2. 에너지저장장치 국내 안전 기준 강화

정부에서는 2017년부터 잇따른 에너지저장장치(ESS)의 배터리 랙과 배터리 관리 시스템(BMS)의 SW 시스템 전반에 문제 또한 염두해두고 SW 기능안전을 국가표준에 도입하였다.

산업통상자원부 국가기술표준원에 따르면 2020년 4월부터 ESS 배터리 랙에 관한 SW기능안전시험 제도를 정식 도입하고 안전확인신고증명서를 획득하지 못한 제품의 판매는 제한된다. 국내에서 법에 근거해 전력설비에 SW기능안전시험이 도입되는건 ESS가 처음이다.

2.1 SW 기능안전이란?

ISO/IEC Guide 51²⁾에서 안전은 “허용 할 수 없는 위험으로부터의 자유(Freedom from Risk which is not Tolerable)라고 정의하고 있다.

IEEE 1228³⁾에서 소프트웨어 안전(Software Safety)을 ‘재해나 사고의 결과로 인해 사람의 사망, 상해 또는 재산 피해의 원인이 될 수 있는 소프트웨어 위험원으로부터의 자유로움(Freedom from Software Hazard)’이라고 정의하고 있다.

소프트웨어 안전을 확보하기 위해서는 시스템(장비)에서 예상되는 위험요소를 소프트웨어를 통해 제거, 감소하거나 또는 소프트웨어 자체의 문제로 인한 사고 위험이 발생하더라도 허용 가능한 수준으로 낮추는 노력이 필요하다. 이를 위해 사전에 위험원 분석 등을 통해 위험한 상황을 미리 식별하여 소프트웨어로 처리가 가능한 부분에 대하여 적절한 수준의 위험 감소 대책을 수립하여 적용하거나, 소프트웨어 품질 수준을 확보하여 소프트웨어 문제로 발생 가능한 사고로부터 충분한 대비를 해야한다. 이러한 관점에서 소프트웨어 안전은 ‘소프트웨어를 통한 안전(Safety through software)’과 ‘소프트웨어의 안전(Safety of software)’을 모두 포함한다.



그림 2 소프트웨어 안전개발

2) ISO/IEC GUIDE 51 : Safety aspects — Guidelines for their inclusion in standards

3) IEEE 1228 : IEEE Standard for Software Safety Plans

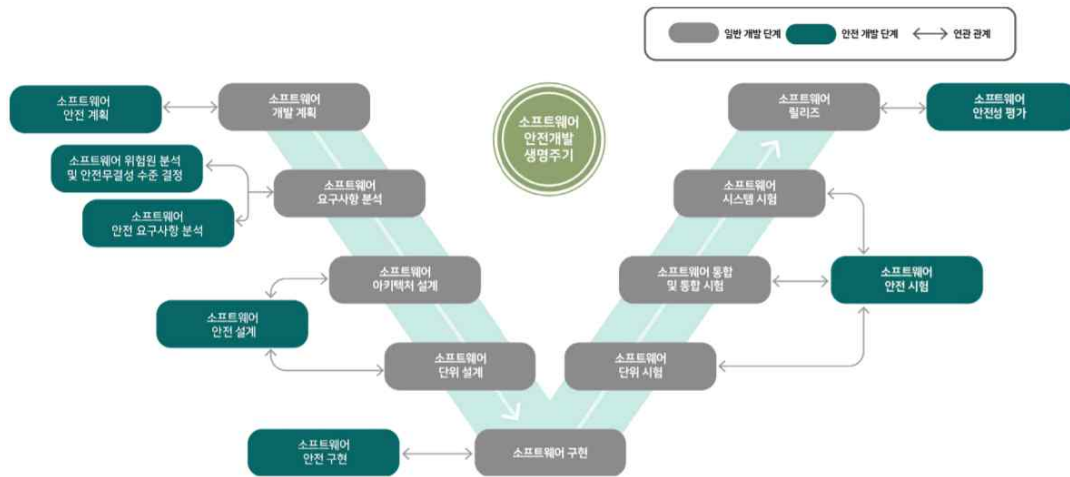


그림 3 소프트웨어 안전개발 생명주기, 정보통신산업진흥원 소프트웨어안전기술활용서

적용단계	안전기법
소프트웨어 안전 계획	<ul style="list-style-type: none"> · 소프트웨어 안전활동 및 안전기법 테이러링 · 소프트웨어 안전 조직의 독립성 수준 결정
소프트웨어 위험원 분석 및 안전무결성 수준 결정	<ul style="list-style-type: none"> · 소프트웨어 위험원 분석 기법 <ul style="list-style-type: none"> - 기능 위험원 분석, 인터페이스 위험원 분석 등 · 소프트웨어 안전무결성 수준 결정 방법 <ul style="list-style-type: none"> - 소프트웨어 위험 심각도 기반 안전무결성 수준 결정 방법 등
소프트웨어 안전 요구사항 분석	<ul style="list-style-type: none"> · 소프트웨어 안전 요구사항 명세 기법 <ul style="list-style-type: none"> - 비정형 명세, 준정형 명세, 안전 요구사항 명세 패턴 등
소프트웨어 안전 설계	<ul style="list-style-type: none"> · 소프트웨어 안전 아키텍처 패턴 <ul style="list-style-type: none"> - 파일 세이프 아키텍처 패턴, 파일 오퍼레이셔널 아키텍처 패턴 · 소프트웨어 안전 메커니즘
소프트웨어 안전 구현	<ul style="list-style-type: none"> · 소프트웨어 코딩 규칙 / 소프트웨어 코드 메트릭 · 소프트웨어 코드 분석 기법
소프트웨어 안전 시험	<ul style="list-style-type: none"> · 소프트웨어 안전 시험 유형 <ul style="list-style-type: none"> - 결함 주입 시험, 안전 메커니즘 시험 등 · 소프트웨어 안전 시험 설계 기법 / 안전 시험 커버리지
소프트웨어 안전성 평가	<ul style="list-style-type: none"> · 소프트웨어 안전 요구사항 명세 기법 <ul style="list-style-type: none"> - 파일 세이프 아키텍처 패턴, 파일 오퍼레이셔널 아키텍처 패턴

표 6 소프트웨어 안전개발 적용단계

- SW 안전을 확보하기 위해서는 기존의 체계적인 SW 개발/품질 관리에 더해 위험원을 식별/제거 하거나 허용 가능한 수준으로 위험성을 완화하기 위한 추가적인 활동이 필요하다.

2.2 에너지저장장치 ESS 구성요소

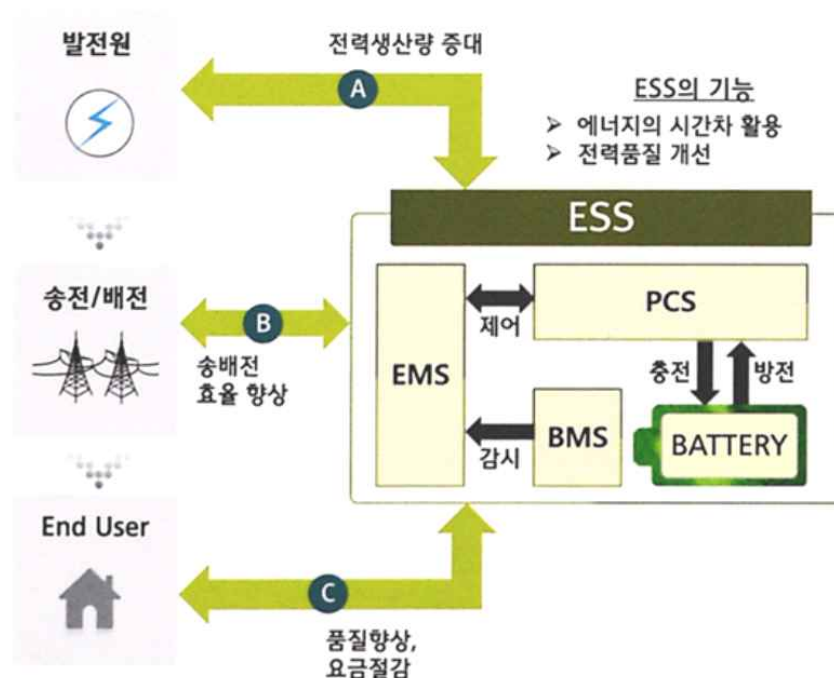


그림 4 한국에너지공단, ESS 시스템 구성

에너지 저장장치(ESS; Energy Storage System)는 전력을 효율적으로 사용하게 하는 설비로, 주파수 조정, 신재생에너지 출력 안정화, 전력피크 저감 등에 활용함으로써 전력품질 향상 및 전력수급 위기 대응이 가능한 설비임. ESS는 배터리(Battery), 전력변환장치(PCS; Power Conditioner System), 배터리관리장치(BMS; Battery Management System), 전력관리장치(Power Management System or Energy Management System) 등의 제반운영 시스템으로 구성됨. ESS의 종류는 ESS 구성요소 중 하나인 배터리(Battery)의 4가지 저장방식(물리적/화학적/전자기적/열적 저장방식)에 따라, 다양한 ESS가 존재함. - 출처 : 한국에너지공단 홈페이지

- 배터리(Battery) : 전력변환장치(PCS)로부터 받은 전기에너지를 직류(DC)저장(또는 충전)하거나, 저장되어 있는 전기에너지를 계통에 출력(또는 방전)하는 동작을 수행하는 장치임. 종류로는 한 번 소모 시 다시는 사용할 수 없는 1차 전지와 충전하여 여러 번 재사용이 가능한 2차 전지로 구분할 수 있음.

- 배터리관리시스템(BMS) : 배터리의 상태 데이터(전압, 전류, 온도 등) 실시간 데이터를 저장하고, 저장용량(SOC) 및 배터리 건강상태(SOH)를 계산하여, 배터리의 용량 및 수명을 예측하는 등의 전반적인 배터리의 상태 및 동작을 관리하고 감시하는 장치로, PCS, PMS와 통신하여 정보를 교환함. 배터리관리장치는 하드웨어적으로 크게 전자제어장치(ECU)와 셀 모듈(CM)로 구성되어 있으며, 소프트웨어적으로는 계측 알고리즘과 충전량 계산, 수명 예측, 셀 밸런싱 알고리즘 등이 사용됨. 배터리 안전을 위한 과충전, 과온, 과전류, 과전압 보호 기능 및 회로를 포함한다. 또한, 배터리관리장치에 사용되는 기술은 열관리 제어 기술과 배터리충전상태(SOC) 제어기술 등이 있음.

- 전력변환시스템(PCS, Power Conditioning System) : 배터리에 저장된 전기에너지를 상용의 전압, 주파수를 가진 전력으로 바꾸어 주거나(방전), 또는 그 반대로 상용의 전원, 주파수를 가진 전력을 직류(DC)로 변환하여 배터리를 충전하는 동작을 수행하는 장치임. 국내 PCS 제조 기업으로는 현대중공업, 효성, LS산전 등이 있다.
- 에너지관리시스템(EMS, Energy Management System / PMS, Power Management System) : 에너지 저장장치 내에서의 에너지 소비를 감시하고 규제하며, 전력 사용을 예측하여 필요한 조정을 할 수 있는 기능 등 전력을 관리하는 시스템으로, 전력변환장치(PCS)와 배터리 주변기기의 정보를 제공받아 에너지저장장치로 실시간 모니터링이 가능하며 어플리케이션의 연산결과를 반영, 배터리 관리장치(BMS)에 지시 및 관리하는 장치이다. 에너지 관리는 전력의 생산에서 소비에 이르는 전력계통, 즉 발전, 송전, 배전, 소비의 전 영역에 걸쳐 이루어지게 된다. 종류로는 건물용인 BEMS, 산업용(공장용)인 FEMS, 가정용인 HEMS, 지역용인 CEMS, 스마트 그리드용 EMS 등이 있음. EMS는 BMS와 PCS 외에도 온도와 습도에 민감한 배터리를 안정적으로 유지하기 위해 온습도계와 공조장비에서 상태데이터를 수집하고 역 전력 및 부하를 관리하기 위해 역 전력 계측기와 통신하게 되고, 지락을 사전에 예방하기 위해 GFD(지락검출기), IMD(절연감시장치)와도 연결된다.

2.3 시스템의 자원관리를 통한 이상 감지

SW Code는 사용자의 의도치 않은 시스템 장애가 발생할 수 있다.

운영중인 장치에 장애가 발생할 경우 예기치 않은 손실과 사고가 발생 할수 있다. 시스템 리소스 모니터링의 목적은 빠른 장애 탐지, 시스템 다운 타임의 최소화, 시스템 파악, 시스템 자동화 등 많은 잇점이 있을 것이다.

소프트웨어의 올바른 실행, 특히 타이밍 관점에서의 올바른 실행은 점점 더 중요한 역할을 하고 있다. 따라서, 소프트웨어의 안전 검증에서 타이밍 분석은 각각 다른 환경에서 정확한 타이밍, 타스킹을 요구하는 시스템에서 반드시 검증되어야되는 하는 항목이라고 할 수 있다.

○ Stack 사용량 모니터링

컴파일시 고정되는 메모리영역

코드영역 : .hex나 .bin과 같은 프로그램 코드가 존재한다. (함수, 제어문, 상수)

데이터영역 : 전역 변수가 존재한다.(전역변수)

○ 실행 중 할당하는 메모리 영역

스택 영역 : 함수 호출 시 할당되며 종료시 반납되는 지역 변수가 존재한다.(지역변수)

힙 영역 : malloc(), calloc() 등으로 생성된 동적 변수가 존재. 이는 free()함수로 할당된 영역을 반납해줘야 한다.(동적할당)

○ 힙과 스택은 같은 공간을 공유한다. 힙 영역은 위 주소부터 할당이 되며, 스택 영역은 아래 주소부터 할당 된다. 그렇기에 각 영역이 서로의 공간을 침범하는 일이 발생할수 있다.

이를 각각 Heap Overflow, Stack Overflow라고 칭한다.

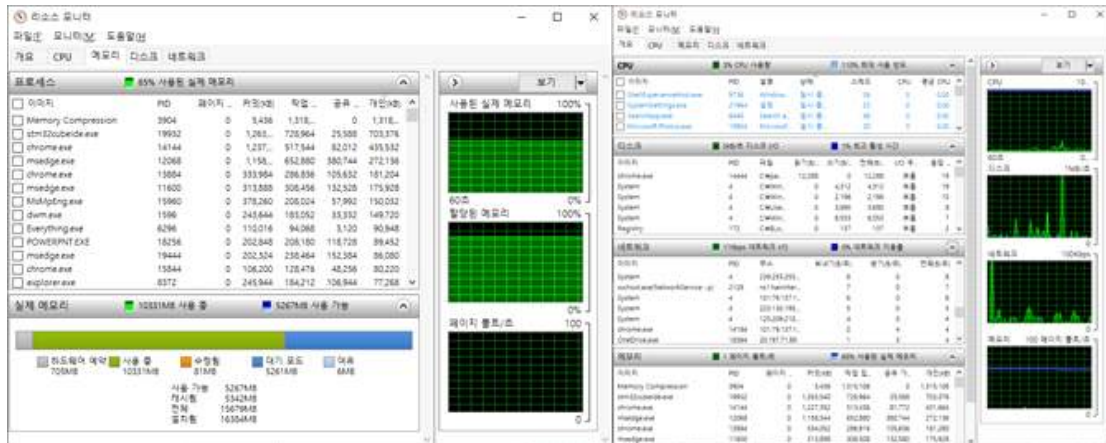


그림 5 윈도우의 리소스 모니터

그림 6 윈도우의 리소스 모니터

[운영체제의 자원관리 기능과 프로세스 관리]

운영체제는 한정된 컴퓨터 시스템의 자원들을 보다 효율적으로 관리하고 운영한다. 운영체제의 자원 관리 기능은 대표적으로 4가지가 있다.

1. 프로세서 관리 : 작업 시간을 할당하거나, 작업의 우선순위를 부여하여 효율적으로 실행되도록 프로세스를 관리하는 기능
2. 메모리 관리 : 어떤 부분이 프로그램에 의해 사용되고 있는지를 관리, 프로그램에게 메모리 공간이 필요할 때 할당하고, 더 이상 필요하지 않게 될 때 회수하여 전체 기억 공간이 효율적으로 사용될 수 있도록 하는 기능
3. 파일 관리 : 파일의 생성과 삭제, 변경, 유지 등의 관리를 담당하는 기능이며, 각 파일의 이름과 보조 기억 장치의 저장 영역 주소를 기억한다.
4. 입출력 장치 관리

컴퓨터에 연결된 각종 주변기기를 포함하여 여러 가지 입출력 장치를 관리하고 제어한다. 입출력 장치의 스케줄링도 이루어진다.

2.4 에너지저장장치의 위험요소

에너지저장장치의 구성요소에서 EMS는 ESS의 컨트롤 타워 역할을 하고 BMS는 배터리의 전압,전류로 충전상태를 모니터링하고 모듈내 각각의 셀간의 충방전 정도가 동일해지도록 조절을 한다(Cell balancing). EMS 통신과 무관하게 자체적으로도 과충전 방지를 하고, 내부 보호회로를 통해 과전류 및 단락시 외부 스위치를 차단하는 기능이 있다.

이렇듯 BMS는 에너지 관리시스템(EMS)이나 전력변환시스템인 PCS가 고장이 나더라도 높은 에너지 밀도로 화재가 발생하고 열폭주로 이어질수 있는 리튬이온 배터리의 최전방 수호병 역할을 하고 있다.

배터리와 직접 연결되어 배터리의 전압,전류,온도의 상태를 체크하고 있는 BMS의 상태정보를 보다 빨리 위험 상태가 EMS로 전송이되면 화재 예방 및 감지에 도움이 되리라고 예상된다.

2019년 ESS 화재 원인 조사에 따르면 일부 ESS의 PCS와 BMS 로그데이터를 분석하였고, 분석 결과 충전이 완료된 배터리가 대기상태 중 갑작스러운 전류 방향의 변화와 함께 셀전압과 셀온도의

편차가 급상승하였고, 이 후 화재로 이어진 것으로 파악되었다. ESS가 충전이 완료된 이후 방전을 하던 중 수차례의 Fault가 발생하였고, 배터리의 방전 전류가 갑자기 충전전류로 바뀌어 흐른 사실이 파악되었다.

“DC 지락⁴⁾에 의한 ESS시스템의 화재에 대한 연구”에서는 AC측과 DC측 지락실험을 실시하여 AC측 지락문제로는 배터리에 과전류가 발생하지 않는다는 사실을 확인하였으며 반면 배터리단(DC측)에서 지락이 발생할 경우, 직렬로 연결된 배터리에서 지락 발생위치에 따라서 지락 전류의 크기가 변한다는 사실을 확인하였다. 지락발생 지점을 기준으로 배터리의 전압에 차이가 있는 경우 배터리가 충분히 충전되어있음에도 불구하고 Grid 단에서 배터리쪽으로 높은 전류가 흐른다. 배터리 스트링 간의 전압차가 없는 경우 지락 발생시 순간적으로 과도 전류가 발생하나 전류가 크기가 작고 시간의 경과 후 곧 사라진다는 것을 알수 있었다. 이로 인해 이 논문에서는 DC 지락으로 인해 배터리 셀에 대전류가 흘러 배터리가 소손된 사고임을 추정하고 있다.

태양광발전설비는 비,바람,눈,자외선 등에 노출되어 있고 고양이,족제비,쥐 등 동물들이 수시로 다닐 수 있다. 이러한 환경속에서 수십년을 운영해야한다. 소방방재청 통계에 의하면, 최근 태양광발전설비 화재로 인해 소방서가 출동하는 건수가 연60여건이 넘고 있다.(최근 5년간 태양광 및 ESS 화재는 총 338건으로 355억원의 재산피해가 발생,국회의원 이주환의원,2020년) 경미한 사고까지 합하면, 더욱 많은 화재나 사고가 발생하는 것이다.

이러한 문제를 해결하고자 산업통상자원부는 판단기준 제54조를 개정하여 태양광발전설비에 지락 차단장치 설치를 의무화했고, 2021년 9월1일로 시행시기를 정했다.

지락전류의 급격한 변화	동작시간
$\Delta I_g = 30\text{mA/sec}$	< 300ms
$\Delta I_g = 60\text{mA/sec}$	< 150ms
$\Delta I_g = 150\text{mA/sec}$	< 40ms

표 7 지락전류에 따른 차단장치 동작시간

지락사고로 30mA가 급변하는 경우 0.3초, 60mA가 급변하는 경우 0.15초, 150mA가 급변하는 경우 0.04초 이내에 동작하여야 한다. 여기서 동작시간의 정의는 지락사고가 발생하는 순간부터 차단기가 동작하는 순간까지이다.

2.5 BMS의 시스템 리소스 관리

BMS의 기능은 계측, 계산, 제어, 통신의 기능이 있다. 전압/전류/온도 측정, SOC(State of Charge) 계산, SOH(State of Health) 계산, 배터리 셀 간의 전압을 균등하게 유지하는 기능, 배터리 온도 상승시 제어 기능, 랙(rack)간의 병렬운전 중 이상(전압,온도) 발생 시 제어 기능, 표준

4) 지락 : 전류가 흐르는 상태에서 절연부분이 열화 또는 손상되어 충전부가 타물체와 접촉되어 대지로 전기가 흐르는 것, 일반적으로 누전(전로 이외에 흐르는 전류)과 같은 의미로 사용되나 저전압/저용량은 누전이라 칭하고 고전압/고용량은 지락이라 칭함

BMS는 배터리의 전압/전류/온도를 측정하여 상태를 제어하는 장치로 배터리의 전압, 충전상태 등을 모니터링하고 모듈 내 단위 셀간의 충방전 정도가 동일해 지도록 조정하는 Cell balancing 뿐만 아니라 배터리의 안전을 위한 과충전 방지 등의 보호기능을 수행하고 보호회로를 통해 과전류 및 단락 시 외부 스위치를 차단하는 기능 및 EMS와 통신하는 역할을 한다. 기존의 Ni-Cd(니켈-카드뮴)이나 Ni-MH(니켈 수소) 전지는 안전성이 우수하여 보호회로가 필요하지 않았으나 리튬 배터리의 경우에는 열폭주, 수분 침투 및 단락 시 화재나 폭발 위험성이 있으므로 리튬이온 배터리에서는 BMS의 중요도가 높아졌다.

성능관리를 위한 대표적인 성능지표에는 응답시간, 시간당 처리량, 자원사용량 등이 있다.

시스템의 성능분석에 아래와 같은 도구들이 사용될수 있다.

T1

SOS

CERTIFICATE

- CAN interface 활용, H/W 변경 필요
- 실시간 CPU Load 측정, 모니터링
- TASK/ISR/Runnable/Function 타이밍 측정
- 정적/동적 STACK 사용량 분석(Indirect call 에 대한 동적 측정)
- Fault Injection Test(CPU Load, 임의 주입가능)
- OS 스케줄러의 동작 검증, TASK/ISR 지면 및 누락 현상 검증
- ISO 26262 ASIL - D 인증 : T1-TARGET-5W

그림 8 GLIWA T1 - 타이밍 측정 툴

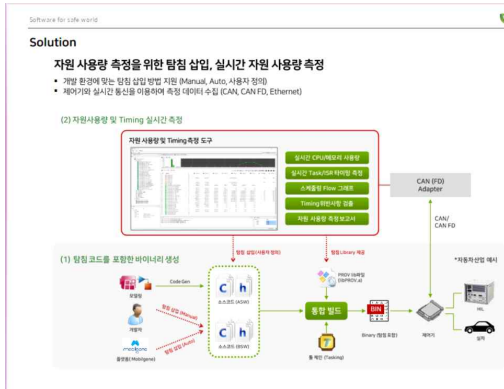


그림 9 슈어소프트테크 PROV



그림 10 슈어소프트테크 PROV

슈어소프트테크 PROV - 자원사용량 및 타이밍 측정

일반 소프트웨어와 달리 임베디드 소프트웨어의 경우 타깃에서 실행되면서 CPU나 메모리와 같은 자원을 얼마나 소비하고 어느정도 성능을 발휘하는지 파악하는 것이 중요하다.

코드 자체를 분석하는 "정적 프로파일링" 방법과 실제 타깃에서 동작시키며 분석하는 "동적 프로파일링" 방법이 있다. 특히, 동적 프로파일링은 꼭 필요한 과정인데, 같은 코드라 하더라도 실제 운영되는 타깃의 환경과 컴파일러를 통해 생성된 기계어에 따라 다양한 성능 차이가 발생하기 때문이다.

컴퓨터에서 심장은 CPU라고 할수 있다.

심장이 제대로 뛰고 있어야 온 몸에 혈류 공급이 되고 신진대사가 이루어 질수 있듯이, CPU에서 정확한 시스템 클럭과 타이밍에 맞춰 주변장치에 명령어를 쓰고 상태를 확인한다.

실제 BMS에서 CPU Clock은 정상인지, 정확한 타이밍에 맞춰 동작하는건지, 메모리 사용량은 이상이 없는지, Stack 사용량은 이상이 없는지 직·간접적으로 측정/파악하는 알고리즘을 구현 적용하면 화재발생 예방에 효과가 있을 것으로 기대가 된다.

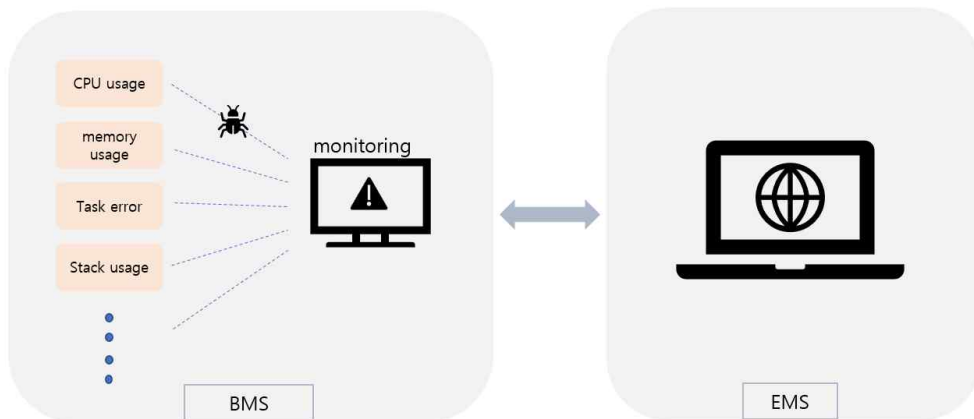


그림 3 BMS 리소스 모니터링

○ 프로파일링

프로파일링은 실행 중인 임베디드 시스템이나 시뮬레이션에서 타이밍 파라미터에 접근하는 과정을 기술한다. 한가지 접근 방법은 실행시간 측정 수행과 동시에 그 자리에서 원하는 타이밍 파라미터를 직접 도출하는 것이다. 다른 접근 방법은 트레이싱을 통해 간접으로 수행하는 것이다. 트레이싱을 할 때는 일단 트레이스 데이터 수집만 하고, 이후에 이 수집된 데이터를 통해 타이밍 파라미터를 추출할 수 있다.

○ 임베디드시스템 자원관리 :

임베디드 시스템 응용프로그램의 비기능적 요구사항 - 응용프로그램은 제한된 하드웨어 자원 위에서 Real-time 제약 조건을 수행한다.

○ BMS System CPU 사용량 모니터링 실시간 성능 측정

목표 : 시스템 동작중 CPU 부하 및 사용량 모니터링

- CPU 부하 및 사용량 : 모든 시스템 태스크, 인터럽트, 지연, 타이밍 파라미터, 타이밍 요구사항 반영 등을 반영하여 스케줄링의 상태를 모니터링
- 모든 TASK/Interrupt의 Worstcase를 포함하여 모니터링 한다.

$$A. \text{ CPU 사용량 } U = \frac{t_e}{t_o}$$

(t_o :관측 기간, t_e 유휴 코드 이외의 다른 코드를 처리하기 위해 CPU가 소비한 시간)

$$B. \text{ CPU 사용량 : } U = \frac{CET}{PER_0}$$

(CET : 실제실행시간, PER_0 :Task시간)

$$C. \text{ 관측기간동안의 실행시간의 합 : } t_e = \sum_{n=1}^N CET_n (t_e:\text{관측시간})$$

$$D. \text{ 관측기간을 고려한 CPU 부하 : } U = \frac{\sum_{n=1}^N CET_n}{t_0}$$

예를 들어 4,8,16,1000ms의 주기적인 태스크에서 각각 실행시간이 1,2,3,1ms일 경우

$CET_{4ms} = 1$, $CET_{8ms} = 2$, $CET_{16ms} = 3$, $CET_{1000ms} = 1$ 이라 할수 있으며

위 공식에 적용시 아래와 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$U = \frac{1ms}{4ms} + \frac{2ms}{8ms} + \frac{3ms}{16ms} + \frac{1ms}{1000ms} = 0.6885 = 68.85\%$$

$$MCU \text{ load } [\%] = \frac{(1 - \text{count at load})}{\text{count at no load}} \times 100$$

기대효과 : CPU 부하가 어느정도 여유가 있음을 실시간 모니터링할 수 있다.

- 명시적으로 idle 상태를 정의
- Timer tick을 이용하여 Count를 증가시킨다.
- Idle 상태에 이르지 못한다면 Count는 되지 않으며, MCU load는 증가
- 실시간 CPU 부하를 가시적으로 표현하며 사용량 모니터링을 통해 위험도를 도출할수 있다.

3. 결론

정부는 기후위기 속에서 탄소발생을 줄이고 단계적으로 원전과 석탄발전 가동을 중단하고 2030년까지 전체 발전량의 20%를 신재생에너지로 공급하는것을 목표로 하고있다.

생산된 전기를 이차전지에 저장했다가 전력이 필요할 때 공급하는 에너지저장장치는 주파수조정, 신재생에너지 연계 발전, 전력 피크 억제 효과, 전력 수급 위기 대응 등 많은 장점이 있다.

세계의 기후위기 속에서 에너지저장장치는 꼭 필요하다. 2017년과 2018년 화재사고 이후 정부 지원은 줄고 규제는 늘어나서 국내 ESS 시장은 정체되어있다.

자동차, 철도, 항공, 전력, 국방, 금융, 의료 등 대부분의 분야에서 SW의 의존도가 높아지고 있고, SW 오류로 인한 사고의 피해가 그동안 발생하였고 위험 정도를 낮추고 재발을 막기 위한 활동은 제품의 안전도를 높이고 신뢰도 향상에 도움이 된다. 시스템의 안전 확보를 위해 기능안전 표준화가 국제적으로 활발히 이루어지고 있다.

선사시대 두려움에 떨던 불도 이젠 인류는 이롭게 쓰고 있다. 아니 없어서는 안되는 요소이다. 에너지저장장치 또한 마찬가지라고 생각된다. 불이나 칼처럼 나쁘게만 쓰면 안좋은 것들일수도 있지만 좋게 칼로 요리를 하고 불로 따뜻하게 난방을 하는 우리 일상에 없어서는 안될 존재들이다.

단순히 가져다쓰는 전기가 아닌 효율적으로 쓰는 전기가 되어 될것이다.

장난감에 갈아끼는 건전지 정도로만 생각해서는 안되고, 더 세밀히 물성을 파악하고 또 충전과 방전이 반복되는 에너지저장장치에서는 이를 제어하는 BMS은 SW 안전 강화 또한 필요하다.

화재 발생이후 ESS산업은 신뢰도 회복을 위해 안전 기준을 강화하고 있다. 위기를 기회로 삼아서 타 산업분야에서도 그렇듯이 산업이 발전함에 있어 사고를 많이 경험하고, 재발 방지를 하고 안전한 상황이 만들어지면 세계 ESS 시장에서 국내 기업이 선두할 수 있으리라 기대된다.

우버(Uber)의 자율주행차량(2017년형 볼보 XC90 개조)이 자전거를 끌고 길을 건너던 40대 여성을 치어 사망케 했던 사고가 있었다. 그리고 테슬라의 모델X 차량이 자율주행 중 고속도로 충격 흡수장치를 들이받고 연이은 추돌사고로 운전자가 사망한 사고 사례도 있었다. 자율주행을 위해 첨단운전지원시스템(ADAS)은 카메라,레이더,라이더(LIDAR)등의 추가적인 부품 및 관련 기술이 사용되며 이는 시스템의 복잡도(complexity)를 필연적으로 상승시키며 주행중인 차량이 다른 차량의 운행 정보 도로,시설물과 네트워크 통신을 이용하여 정보를 공유하기 때문에 SW는 더욱더 안전설계가 요구되고 있다.

이처럼 현대 사회에서는 모든 분야에서 제품과 서비스 구조가 복잡해지고 기능이 많아짐에 따라 시스템이 오작동하거나 오류로 인한 사고가 발생하고 있다. 시속 300Km/h이상으로 달리는 고속열차에서 안전벨트를 메지 않아도 우리는 안전벨트를 메고 자동차를 타고 고속도로를 지날때보다 더 안전하다고 느낄수 있다. 사고 발생 후 신속한 원인 분석으로 위험(Risk)요소를 제거하고 피해의 가능성(Probability)과 심각성(Severity)을 낮추는 활동을 할때 시스템에 대한 신뢰도는 높아지리라 믿는다.

< 자료 출처 >

- 김훈 김승호 송형준, "DC 지락에 의한 ESS시스템의 화재에 대한 연구", 전기학회논문지(The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers) , KIEE Vol. 68, No. 11, p.1470-1476(2019)
- 정한고기자, "칼럼/태양광발전설비 지락차단장치 설치 의무화에 따른 대응방안", 인더스트리뉴스, 2021.09.04(<https://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=43593>)
- ESS 화재원인 22개월만에 규명됐다
지디넷코리아 <https://zdnet.co.kr/view/?no=20190611103740>
- 태양광 연계용 LG화학 완충상태서 ESS화재 '최다' 21.04.12
이투뉴스 <http://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=231728>
- 한전 사이버지점 - 전기요금제도/원가연계형 요금제(기후환경요금)
<https://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/H/C/CYHCHP00211.jsp>
- 화재보험협회, "리튬이온배터리 에너지저장시스템(ESS)의 안전관리 가이드" 소방청, "에너지저장장치의 화재안전대책에 관한 연구"
- 청와대, "COP26 정상회의 기조연설", 21.11.01
(https://www.mofa.go.kr/www/brd/m_20053/view.do?seq=368324)
- 대한민국 정책브리핑, "2050 탄소중립을 위한 신재생·ESS 투자를 통해 신규 일자리·사업기회 창출 등 미래 성장동력으로 활용" 21.09.28
- [출처] 대한민국 정책브리핑(www.korea.kr)
- 산업통상자원부 "원가연계형 전기요금 체계 :2021년1월부터 적용"(20.12.17)
(https://motie.go.kr/motie/gov3.0/gov_openinfo/sajun/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=155117561&bbs_cd_n=2)
- 한전, 3분기 전기요금 21일 발표 인상 vs 동결? 뉴스핌 21.6.17
(<https://www.newspim.com/news/view/20210616001247>)
- 전기저널, "연료비 연동제 정상화...4분기 전기요금 kWh당 3원 인상" (21.10.12)
(<http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=4284>)
- 파이낸셜뉴스, "미래 2차전지도 1위국가로" 5년내 승부본다 (21.07.08)
(<https://www.fnnews.com/news/202107081826266901>)
- 인더스트리뉴스, "[2021 태양광 시장전망] 2021년 ESS 시장, 화재 이슈 및 REC 등 꼬인 매듭 풀어야 회복" <http://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=40922>
- 인더스트리뉴스, "서광 비추는 ESS, 분산에너지 활성화로 재비상 기틀 다진다"
<http://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=44158>