Chapter 02

풍력에너지발전시스템 전자파적합성(EMC) 국제 표준화 동향

권종화_한국전자통신연구원 책임연구원
황정환 한국전자통신연구원 책임연구원
허용학 한국표준과학연구원 책임연구원

I. 개요

유럽에서는 전기·전자 제품뿐만 아니라 주요 고정 설비(fixed installation)에서의 전자파적합성(Electromagnetic Compatibility: EMC)에 대해 법령(EMC Directive 2014/30/EU) [1],[2]으로 관리하고 있다. 풍력 터빈을 포함한 풍력에너지발전시스템은 유럽 전자파적합성 지침에 따라 내부에 저전력 및 고전력 장비를 포함하고 높은 스위칭 주파수에서 부분적으로 작동하는 고정설비로 정의되는 큰 구조물이다. 풍력 터빈의 주요 안전기능과 환경적 영향과 관련하여 전체 풍력 터빈 시스템과 풍력 터빈 내에 설치되는 단일 부품들의 전자파적합성은 점점 더 중요해지고 있다[3].

국내에서는 정부의 탈원전 정책에 따라 신재생에너지의 중요성이 높아지고 있으며, 재생에너지 3020 이행계획 기반 목표를 안정적으로 달성하기 위해서는 전체 시스템이 전자파에 의해 영향을 받을 가능성을 낮추고 주변 기기나 시스템, 그리고 무선서비스에 영향을 주지 않도록 관리해야 한다. 국내에서도 과학기술정보통신부에서 주요 시설에 대해 기기·시스템 사이의 전자파적합성을 포함한 전자파 안전관리 제도 도입을 추진하고 있다.

본 고에서는 대표적인 신재생 에너지원인 풍력에너지발전시스템에서 전자파적합성을 확보하기 위한 국제 표준화 동향에 관해 기술한다. 우선 풍력에너지발전시스템을 포함하는 고정 설비에 대한 전자파적합성 관리에 관해 간단히 소개하고, 세부적으로 풍력에너지발전

* 본 내용은 권종화 책임연구원(☎ 042-860-6742, hjkwon@etri.re.kr)에게 문의하시기 바랍니다.
** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.
***본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [2019-0-00102, 복합 전파환경에서의 국민건강 보호기반 구축]

OPEN 출처표시 상업용금지 공공누리 공공저작물 자유이용허락

시스템을 담당하는 IEC 산하 TC88에서 현재까지 진행 중인 전자파적합성 표준화 상황과 IEC TC88 PT-40에서 현재 검토 중인 전자파적합성 표준 초안 내용을 기술하고, 마지막으로 IEC 표준 이전에 현재 현장에서 일부 적용하고 있는 풍력에너지발전시스템 전자파적합성 관련 기술문서에 관해 기술하였다.

II. 고정 설비에 대한 전자파 관리

최근 전기·전자 및 방송·통신 기술의 급속한 발전에 힘입어 다양한 유·무선 서비스가 개발되고 있으며, 이러한 서비스의 실현을 위해 대량의 정보를 고속으로 처리해야 하는 다양한 첨단 정보통신기술 장비들의 사용이 많아지고 있다. 대용량의 정보를 고속으로 전송하고 처리하는 장비의 경우 기본적으로 Gbps 이상의 데이터 처리 및 전송 속도를 요구하여 대부분의 기기에서 GHz 이상의 클록을 사용하고 있고, 5G 무선 서비스의 상용화를 포함한 다양한 무선 서비스가 사용됨에 따라 전 주파수대역에서 전파의 이용이 많아지고 있으며, 모바일 기기의 특성상 전력의 효율적인 활용을 위해 구동 전압이 작아지고 있다. 이처럼 전파의 이용이 활발해지고 동시에 저전력으로 구동되는 장비들의 사용이 많아짐에 따라 기기로부터 발생하는 의도성(intentional) 및 비의도성(unintentional) 전자파에 의해 인접 장비나 시스템에 미치는 영향이 커지고 있다. 따라서 안전한 전파환경을 구현하고 주요 기반 시스템의 안정적인 운용을 위해서는 전기·전자 장비 및 유·무선 기기들이 서로 영향을 최소화하면서 상호 공존하는 것이 필수적이며, 이를 위해서 시설 수준에서의 전자파적합성 기술의 중요성이 점차 높아지고 있다.

다양한 전기·전자 및 방송·통신 장비들이 설치된 복합 시설물에서의 전자파 안전성을 확보하기 위해 유럽에서는 전자파적합성에 관한 법령인 EMC Directive 2004/108/EC를 통해 장비는 물론 주요 고정 설비에 대해서도 기능안전(functional safety)을 고려하여 관리하고 있다[1],[2]. 즉, 시설 수준의 전자파적합성 관리는 전자파적합성 인증을 받은 개별 장비의 복합적인 구성으로 구현되는 주요 시설에서의 전자파 환경을 평가하고, 시설 내부에 설치되는 각종 장비의 전자파 내성을 분석하여 전자파적합성이 확보된 환경에서 장비를 설치하고 관리함으로써 장비를 포함한 시설에 대한 전자파 영향을 최소화하여 안정적으로 동작할 수 있도록 함을 의미한다.

풍력에너지발전시스템은 전자파적합성 지침(Directive) 2014/30/EU에 따라 고정설비로 정의되는 구조물로서, 제도적으로 전자파적합성을 고려한 공학적 관리가 필요하며, 또한 최근 정보통신기술을 사용하는 풍력에너지발전시스템 및 하위 부속품들이 많고 내부에 높은 스위칭 주파수에서 동작하는 고전력 장비를 포함하고 있어 전자파 관점에서 관리의 중요성이 높아지고 있다.

III. 전자파적합성 표준화 현황

1. IEC61040 PT-40 개요

풍력에너지발전시스템과 관련된 모든 표준은 국제전기기술위원회(International Electrotechnical Commission: IEC) 산하 TC88(Wind Energy Generation Systems)에서 담당하며, 풍력에너지발전시스템 관련 제품 인증을 위한 설계, 품질보장, 그리고 기술적 측면에 대한 기반 제공을 목적으로 한다. IEC TC88에서는 풍력 터빈, 육상 및 해상 풍력 발전소, 그리고 에너지가 공급되는 전기 시스템과의 상호 작용을 포함한 풍력에너지 발전 분야의 표준을 담당한다. TC88에서는 IEC61400 시리즈로 제정되는 표준을 담당하며, 풍력에너지발전시스템과 관련된 현장 적합성 및 자원 평가, 설계 요구사항, 공학적 무결성, 모델링 요구사항, 측정기술, 시험 절차, 작동 및 유지보수 등을 다룬다.

IEC TC88에서 풍력에너지발전시스템 내에 사용되는 장비는 물론 전체 시설에 대한 전자파적합성을 측정·평가하기 위해 프로젝트팀(Project Team: PT)을 구성하여 표준화가 진행 중이며 주요 사항은 다음과 같다. IEC 산하의 각 기술위원회에서는 담당 제품(군)에 대한 전자파적합성 표준을 제정할 때 IEC에서 전자파적합성 표준을 담당하는 기술위원회인 국제무선장해특별위원회(International Special Committee on Radio Interference: CISPR)와 TC77(전자파적합성)에서 제정한 표준을 참조하고 협력하도록 권고하고 있다.

- IEC TC88 산하 PT61400-40: 전자파적합성-요구규격 및 시험방법

  (목적) 풍력에너지발전시스템의 방사성/전도성 방출/내성 성능을 검증하기 위한 요구사항 및 시험방법을 정의하는 IEC61400-40 표준 개발

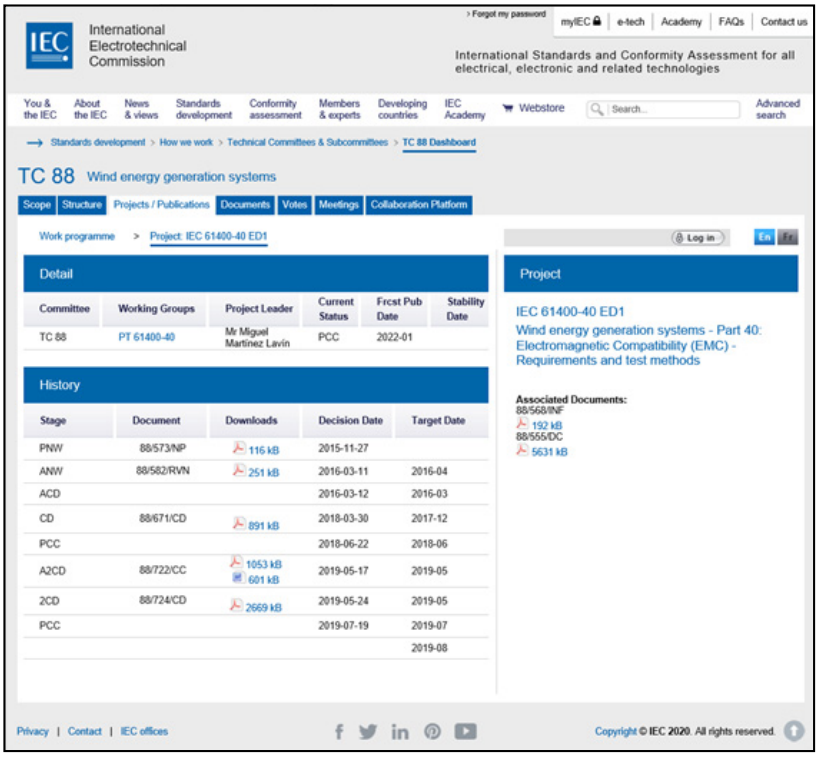
  (대상) 전기를 생산하는 모든 유형(육상 및 해상)의 풍력 에너지 발전 설비 및 시설

(방법) 풍력에너지발전시스템의 운용상황과 기존 IEC 전자파적합성 표준에 근거

(허용기준) IEC61000-6-2/4(산업 환경), 측정방법: CISPR11, CISPR16-2-3/5 참조

IEC TC88에서 개발하려고 하는 표준인 IEC61400-40은 풍력에너지를 생산하는 모든 유형의 전기에 적용된다. 또한, 방사성 및 전도성 전자파 방해에 대해 전기를 생산하는 시스템의 성능을 검증하기 위한 요구사항과 시험방법을 풍력에너지발전시스템과 포함된 모든 하위 시스템의 동작 및 설치에 따라 정의된다. IEC61400-40 표준은 해상 및 육상에 설치될 풍력을 이용하여 전기를 생산하는 모든 발전시설에 적용함을 목적으로 한다.

[그림 1]은 IEC TC88 PT-40의 표준 문서와 참여하고 있는 전문가에 대한 정보를 제공한다. 현재 두 번째 위원회 문서(Committee Draft: CD)가 발행되어 있으며, 우리나라를 포함해 7개국 18명(독일 5명, 덴마크 4명, 일본 3명, 영국 2명, 스페인 2명, 한국, 중국 각 1명)의 전문가로 구성되어 있으며 현재 프로젝트 리더는 영국의 Steve Hayes이다.



〈자료〉 IEC Website

[그림 1] 풍력에너지발전시스템 전자파적합성(EMC) 관련 프로젝트(IEC TC88 PT-40) 현황

2. IEC61040 PT-40 표준 개발 현황

2014년 11월에 유럽전기기술표준화위원회(European Committee for Electrotechnical Standardization: CENELEC) 산하 TC88에서는 풍력 터빈 관련 전자파적합성 표준을 제정하기 위해 신규 프로젝트 추진을 위한 NP 문서(CLC TC88_Sec_0144A_NP)와 표준 초안을 회람하였으며, 회원국들의 투표(88_Sec_0147_RV)로 통과되었다.

2015년 4월 오스트리아에서 개최된 IEC TC88 회의에서 CENELEC TC88은 유럽 내 표준 진행 상황을 공유하면서 IEC TC88에서 국제표준으로 전자파적합성 표준 제정 여부를 문의하였다. 회의 결과에 따라 IEC TC88에서는 2015년 5월에 회원국에게 TC88 주관으로 풍력에너지발전시스템에 대한 전자파적합성 표준 제정 여부에 대해 문의하는 문서(88/555/DC)[4]를 회람하였으며, 회람 결과(88/568/INF)[5] 회원국들의 찬성으로 TC88 주관으로 풍력에너지발전시스템 관련 전자파적합성 표준을 제정하는 것으로 결정되었다.

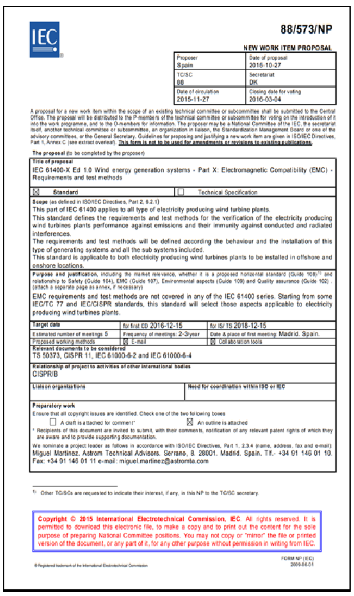
IEC TC88은 전자파적합성 표준 제정을 위한 프로젝트팀인 PT-40을 구성하였으며, 풍력 터빈 안전 및 전자파적합성 분야 전문가인 스페인 Ata Renewables사의 Miguel Martinez Lanvin을 초대 프로젝트 리더로 선정하였다. 이후 IEC TC88 산하 신규 프로젝트 구성을 위해 NWIP 문서인 88/573/NP 문서[6]를 2015년 11월 회람하였으며, 회람 결과(88/582/RVN)[7] 26개 P-member 중 18개국이 투표하였으며 영국을 제외한 17개국의 찬성(94.4%)으로 통과되었다.

2016년에 프로젝트팀이 구성된 이후 매년 2회 정도 정기적인 회의를 진행하였으며, 각 회의에 대한 정보는 다음과 같다.

- 1차 회의: 2016. 6. 27~28 @ 스페인 마드리드
  - 적용 대상: 풍력 터빈(Wind Turbine) 및 풍력 발전단지(Wind Farm)
  - 방출(Emission) 및 내성(Immunity) 시험 항목 및 요구사항 정리
  - 변형 모델(Variant Model)에 대한 정의 논의 등
- 2차 회의: 2016. 11. 29~30 @ 스페인 마드리드
  - 전자파장해(Electromagnetic Interference: EMI) 측정 시 WT에 대한 동작 모드 정의(Operation modes definitions)
  - 방사성 방출 허용기준: CISPR11 표 16(측정거리 10m)
  - 측정 환경에 대한 요구규격 논의 등

- 3차 회의: 2017. 4. 27~28 @ 독일 베를린
  - 네덜란드 등 전자파적합성 측정결과에 대한 분석
  - 풍력 컨버터에 대한 방출 및 내성 요구규격을 포함한 부속서 검토 등
- 4차 회의: 2017. 10. 24~26 @ 스페인 마드리드
  - CISPR11 현장측정 방법 개정에 따른 부품 레벨에 대한 현장 측정 관련 내용 논의
  - 동작 모드에 대한 추가 검토 등
- 5차 회의: 2018. 3. 12~13 @ 스페인 마드리드
- 6차 회의: 2018. 9. 13~14 @ 네덜란드 그로닝겐
  - 88/671/CD에 대한 NC 의견 검토
- 7차 회의: 2019. 1. 31 @ 원격 회의
  - 프로젝트 진행사항 점검 및 2nd CD 준비 논의

프로젝트팀 활동 결과 첫 번째 위원회 문서(CD)인 88/671/CD[8]는 2018년 3월에 회람되었으며, 각국 위원회의 의견에 대한 문서(CC)인 88/722/CC 문서[9]가 2019년 5월에



IEC

88/573/NP

NEW WORK ITEM PROPOSAL

Proposer Spain	Date of proposal 2015-10-27
TC/SC 88	Secretariat DK
Date of circulation 2015-11-27	Closing date for voting 2016-03-04

A proposal for a new work item within the scope of an existing technical committee or subcommittee shall be submitted to the Central Office. The proposal will be distributed to the P-members of the technical committee or subcommittee for voting on the introduction of it into the work programme, and to the O-members for information. The proposer may be a National Committee of the IEC, the secretariat itself, another technical committee or subcommittee, an organization in liaison, the Standardization Management Board or one of the advisory committees, or the General Secretary. Guidelines for proposing and justifying a new work item are given in ISO/IEC Directives, Part 1, Annex C (see extract overleaf). **This form is not to be used for amendments or revisions to existing publications.**

The proposal (to be completed by the proposer)

Title of proposal
IEC 61400-X Ed 1.0 Wind energy generation systems - Part X: Electromagnetic Compatibility (EMC) - Requirements and test methods

☒ Standard ☐ Technical Specification

Scope (as defined in ISO/IEC Directives, Part 2, 6.2.1)
This part of IEC 61400 applies to all type of electricity producing wind turbine plants.
This standard defines the requirements and test methods for the verification of the electricity producing wind turbines plants performance against emissions and their immunity against conducted and radiated interferences.
The requirements and test methods will be defined according the behaviour and the installation of this type of generating systems and all the sub systems included.
This standard is applicable to both electricity producing wind turbines plants to be installed in offshore and onshore locations.

Purpose and justification, including the market relevance, whether it is a proposed horizontal standard (Guide 108)[1] and relationship to Safety (Guide 104), EMC (Guide 107), Environmental aspects (Guide 109) and Quality assurance (Guide 102). (attach a separate page as annex, if necessary)
EMC requirements and test methods are not covered in any of the IEC 61400 series. Starting from some IEC/TC 77 and IEC/CISPR standards, this standard will select those aspects applicable to electricity producing wind turbines plants.

Target date	for first CD 2016-12-15	for IS/TS 2018-12-15
Estimated number of meetings 5	Frequency of meetings: 2-3/year	Date & place of first meeting: Madrid, Spain.
Proposed working methods	☒ E-mail	☒ Collaboration tools

Relevant documents to be considered
TS 50373, CISPR 11, IEC 61000-6-2 and IEC 61000-6-4

Relationship of project to activities of other international bodies
CISPR/B

Liaison organizations | **Need for coordination within ISO or IEC**

Preparatory work
Ensure that all copyright issues are identified. Check one of the two following boxes
☐ A draft is attached for comment* ☒ An outline is attached
* Recipients of this document are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.
We nominate a project leader as follows in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1, 2.3.4 (name, address, fax and e-mail):
Miguel Martinez, Astrom Technical Advisors, Serrano, 8, 28001, Madrid, Spain, Tlf.- +34 91 146 01 10, Fax: +34 91 146 01 11 e-mail: miguel.martinez@astromta.com

[1] Other TC/SCs are requested to indicate their interest, if any, in this NP to the TC/SC secretary.

Copyright © 2015 International Electrotechnical Commission, IEC. All rights reserved. It is permitted to download this electronic file, to make a copy and to print out the content for the sole purpose of preparing National Committee positions. You may not copy or "mirror" the file or printed version of the document, or any part of it, for any other purpose without permission in writing from IEC.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission

FORM NP (IEC)
2009-04-01

88/573/NP(2015.11.27.)

IEC

88/671/CD

COMMITTEE DRAFT (CD)

PROJECT NUMBER:
IEC 61400-40 ED1

DATE OF CIRCULATION: 2018-03-30 | CLOSING DATE FOR COMMENTS: 2018-06-22

SUPERSEDES DOCUMENTS:
88/573/NP, 88/582/RVN

IEC TC 88 : WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS

SECRETARIAT: Denmark | SECRETARY: Mrs Christine Weibel Bertelsen

OF INTEREST TO THE FOLLOWING COMMITTEES: SC 77A,CISPR,CIS/B

PROPOSED HORIZONTAL STANDARD: ☐
Other TC/SCs are requested to indicate their interest, if any, in this CD to the secretary.

FUNCTIONS CONCERNED: ☐ EMC ☐ ENVIRONMENT ☐ QUALITY ASSURANCE ☐ SAFETY

This document is still under study and subject to change. It should not be used for reference purposes.

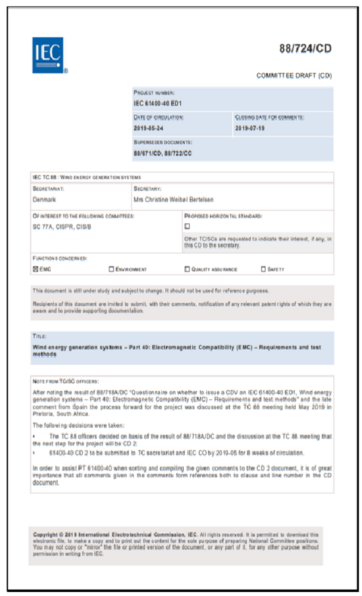
Recipients of this document are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.

TITLE:
Wind energy generation systems – Part 40: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Requirements and test methods

NOTE FROM TC/SC OFFICERS:
In order to assist PT 61400-40 when sorting and compiling the given comments on the CD document, it is of great importance that all comments given in the comments form refer to both clause and line numbers in the CD document.

Copyright © 2018 International Electrotechnical Commission, IEC. All rights reserved. It is permitted to download this electronic file, to make a copy and to print out the content for the sole purpose of preparing National Committee positions. You may not copy or "mirror" the file or printed version of the document, or any part of it, for any other purpose without permission in writing from IEC.

88/671/NP(2018.03.30.)



IEC

88/724/CD

COMMITTEE DRAFT (CD)

PROJECT NUMBER:
IEC 61400-40 ED1

DATE OF CIRCULATION: 2019-05-24 | CLOSING DATE FOR COMMENTS: 2019-07-19

SUPERSEDES DOCUMENTS:
88/671/CD, 88/722/CC

IEC TC 88 : WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS

SECRETARIAT: Denmark | SECRETARY: Mrs Christine Weibel Bertelsen

OF INTEREST TO THE FOLLOWING COMMITTEES: SC 77A, CISPR, CIS/B

PROPOSED HORIZONTAL STANDARD: ☐
Other TC/SCs are requested to indicate their interest, if any, in this CD to the secretary.

FUNCTIONS CONCERNED: ☒ EMC ☐ ENVIRONMENT ☐ QUALITY ASSURANCE ☐ SAFETY

This document is still under study and subject to change. It should not be used for reference purposes.

Recipients of this document are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.

TITLE:
Wind energy generation systems – Part 40: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Requirements and test methods

NOTE FROM TC/SC OFFICERS:
After noting the result of 88/718A/DC "Questionnaire on whether to issue a CDV on IEC 61400-40 ED1, Wind energy generation systems – Part 40: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Requirements and test methods" and the late comment from Spain the process forward for the project was discussed at the TC 88 meeting held May 2019 in Pretoria, South Africa.
The following decisions were taken:
- The TC 88 officers decided on basis of the result of 88/718A/DC and the discussion at the TC 88 meeting that the next step for the project will be CD 2.
- 61400-40 CD 2 to be submitted to TC secretariat and IEC CO by 2019-05 for 8 weeks of circulation.

In order to assist PT 61400-40 when sorting and compiling the given comments to the CD 2 document, it is of great importance that all comments given in the comments form references both to clause and line number in the CD document.

Copyright © 2019 International Electrotechnical Commission, IEC. All rights reserved. It is permitted to download this electronic file, to make a copy and to print out the content for the sole purpose of preparing National Committee positions. You may not copy or "mirror" the file or printed version of the document, or any part of it, for any other purpose without permission in writing from IEC.

88/724/CD(2019.05.24.)

〈자료〉 IEC TC88 표준문서(88/573/NP, 88/671/CD, 88/724/CD)

[그림 2] IEC TC88 PT-40 관련 주요 표준 문서 발행 현황

회람되었다. 첫 번째 위원회 문서 내용에 대한 수정·보완 사항이 많아 두 번째 위원회 문서를 제정하기로 하였으며, 현재 88/724/CD 문서[10]가 발행되어 있다. 이후 표준 제정 과정에서 절차적인 문제와 프로젝트 리더 교체 등 여러 가지 사유로 현재 표준화 진행이 더디게 진행되고 있다. IEC TC88 PT-40에서 발행한 주요 표준 문서는 [그림 2]와 같다.

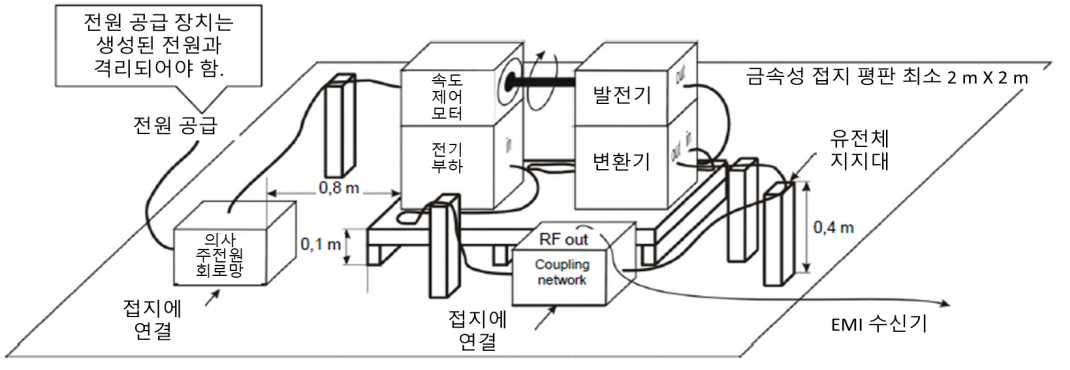
IV. 풍력에너지발전시스템 전자파적합성 측정방법

본 절에서는 IEC TC88 산하 PT61400-40에서 추진 중인 풍력에너지발전시스템에서의 전자파적합성 측정·평가 방법에 대한 표준 초안인 88/724/CD 문서의 주요 내용에 대해 간단히 기술한다. 현재 개발 중인 표준 초안은 해안 또는 내륙에 설치된 모든 풍력에너지발전시스템에 적용을 목적으로 한다.

본 고에서는 목차 내용 중 방출 및 내성 요구규격, 동작 조건, 측정방법 등 주요 내용에 대해 간단히 기술하였다.

1. 전자파 장해(EMI) 측정

풍력에너지발전시스템 전자파적합성 평가 관련하여 전도성 방출 측정에 대해서는 기존 IEC61400 시리즈에 일부 언급되어 있다. 즉, IEC61400-1 표준의 적용 범위에 포함되는 시스템에는 전도성 방출 요구사항이 적용되지 않으며, IEC61400-2 표준의 적용 범위에 포



〈자료〉 IEC 61400-2 Ed3.0: 2013 - Wind turbines - Part 2: Small wind turbines, Annex H.

[그림 3] 전도성 방출 측정 배치

함되는 시스템의 경우 [그림 3]과 같이 전도성 방출 배치를 사용하여 IEC61400-2 부속서 H를 적용하게 되어있다.

따라서 IEC61400-40에서는 주로 방사성 방출(Radiated Emission) 관련된 측정방법과 허용기준 등에 대해 주로 기술되어 있다. 방사성 방출 측정과 관련해서 풍력에너지발전시스템은 전자파적합성 시험장이 아닌 시스템이 설치된 환경에서 현장측정을 해야 한다. 따라서 시험을 위한 환경은 풍력 터빈 주변 30m 반경 내에서 가능한 한 평평하고 자유롭게 접근할 수 있어야 하며 장애물이 없어야 하며, 측정 시 강수량, 안개, 낙뢰 등과 같은 기상조건은 변화가 없어야 한다. CISPR 11[11]에서와 같이 전자파적합성 시험 대상은 최대 간섭 방출이 발생하는 조건(최악 조건)에서 측정해야 하며, 풍력에너지발전시스템의 경우 시험 중 계통 분리 모드, 대기 모드, 중간 및 최대 부하 운전 모드로 구분하여 측정하고 각 동작 모드에 대한 설명은 [표 1]과 같다.

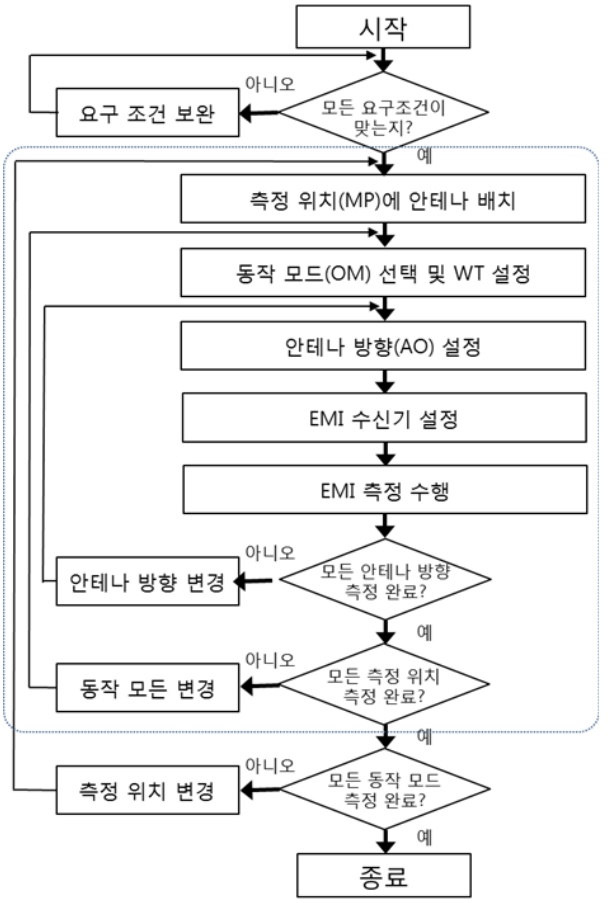
[표 1] 전자파적합성 측정 시 풍력에너지발전시스템 동작모드

동작 모드	고려사항
계통 분리 모드 (Off Mode)	- 안전 문제를 반드시 고려 - 대기 모드에서 측정결과가 허용기준보다 6dB 아래에 있는 것으로 표시되면 계통 분리 모드의 측정은 불필요
대기 모드 (Standby Mode)	- 대기 모드는 제조업체가 선언해야 하고 시험 보고서에 기록 - 모든 전기·전자시스템에 전원 공급, 조명은 켜고 전력변환시스템은 비활성
중간 부하 운전 모드 (Medium Load Operation Mode)	- 풍력 터빈은 정격 전력의 0~49%의 유효 전력을 생산
증가된 부하 운전 모드 (Increased Load Operation Mode)	- 풍력 터빈은 정격 전력의 50~100%의 유효 전력을 생산

〈자료〉 IEC TC88, 88/724/CD, 2019. 5. 24.

풍력에너지발전시스템에 대한 방사성 방출은 시스템이 구축된 현장에서 [그림 4]에서 제시하고 있는 절차에 따라 수행한다. 즉, 시험환경이나 기상조건 등 요구조건이 맞는지 확인하고 보완한 후에 시스템의 각 동작 모드에 대해 요구되는 측정 위치에서 안테나 방향(수직/수평)과 종류(전기장/자기장)를 바꿔가면서 최대로 방사되는 전자기장을 측정한다.

측정용 안테나는 [그림 5]와 같이 풍력 터빈(WT)의 정면에서 블레이드의 회전축에 평행한 축을 기준으로 90도 간격으로 4개의 위치에 배치하고, 이것이 불가능한 경우에는 측정 기본 위치를 타워의 문이 있는 방향으로 정렬한다. 측정 거리는 풍력 터빈(WT) 표면과 측정 안테

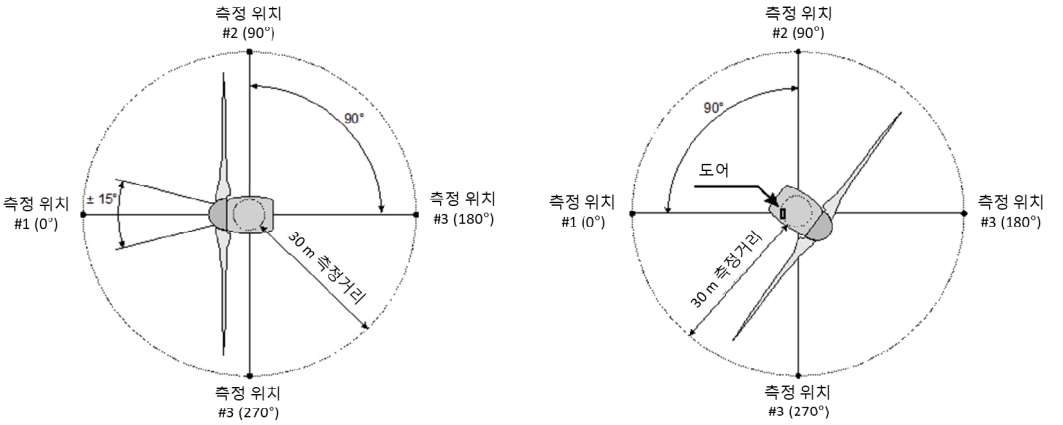


〈자료〉 IEC TC88, 88/724/CD, 2019. 5. 24.

[그림 4] 방사성 방출 측정 절차

나의 위상 중심 사이의 수평 거리로 30m이며, 네 개 방향 중 전원 공급 케이블이 감지되지 않은 방향을 선정하여 추가로 65m와 100m에서 측정한다. 측정 영역 내에 무선 시스템이 존재하는 경우 무선 시스템의 안테나 방향으로 더 많은 측정이 필요하다.

전자파적합성 관련 제도에서는 장비의 특성과 사용 환경에 따라 적합성 기준을 달리 적용한다. 전자파 발생의 의도성 여부에 따라 비의도성 장비는 1종으로, 의도성 장비는 2종으로 구분하고 장비가 사용되는 환경에 따라 산업 환경에서 사용되는 장비는 A급으로, 주거, 상업 및 경공업 환경에서 사용되는 장비는 B급으로 구분한다. 풍력에너지발전시스템은 의도적으로 전자파를 발생시키지 않는 산업 환경에서 사용될 목적으로 만들어진 장비이므로 A급,



〈자료〉 IEC TC88, 88/724/CD, 2019. 5. 24.

[그림 5] 풍력에너지발전시스템 주변 방사성 방출 측정 위치

1종 장비에 해당한다. 따라서 표준 초안에서는 [표 2]와 같이 CISPR 11에서 제시한 현장에서 측정된 A급, 1종 장비에 대한 방사성 방해 허용기준이 적용된다.

[표 2]에서는 30m 거리에 대한 허용기준만 제시되어 있으며 그 이외에 측정 거리에 대해서는 전자파의 자유공간 손실에 의한 효과를 고려하여 다음 식 (1)을 이용하여 거리별 허용기준을 추정할 수 있으며, 65m와 100m에서의 허용기준은 [표 3]과 같다.

[표 2] 현장에서 측정된 A급 그룹1 장비에 대한 방사성 방해 허용기준(CISPR 11 참조)

주파수대역 [MHz]	장비가 있는 건물의 외부면으로부터 30m 떨어진 거리에서의 허용기준	
	전기장, 준첨두(Quasi-peak) dB(V/m)	자기장, 준첨두(Quasi-peak) dB(A/m)
0.15~0.49	-	13.5
0.49~3.95	-	3.5
3.95~20	-	-11.5
20~30	-	-21.5
30~230	30	-
230~1,000	37	-

* 전이 구간에서는 더욱 엄격한 허용기준이 적용
* 측정지역의 조건이 30m 측정을 허용하지 않는다면, 더 먼거리에서 측정할 수 있다. 이러한 경우에는 거리에 대해 20dB/decade의 역비례 계수를 사용하여 적합성 여부를 결정하기 위해 측정된 데이터를 지정된 거리로 정규화해야 함
* 30㎒ 이하의 해양 환경을 평가하기 위한 육상의 측정결과에 대한 추가 보정 계수는 2dB임
* 30㎒~1㎓의 경우에는 추가 보정이 필요하지 않음

〈자료〉 IEC CISPR, CISPR11 Ed6.0: 2015.

[표 3] 거리별 전기장 허용기준

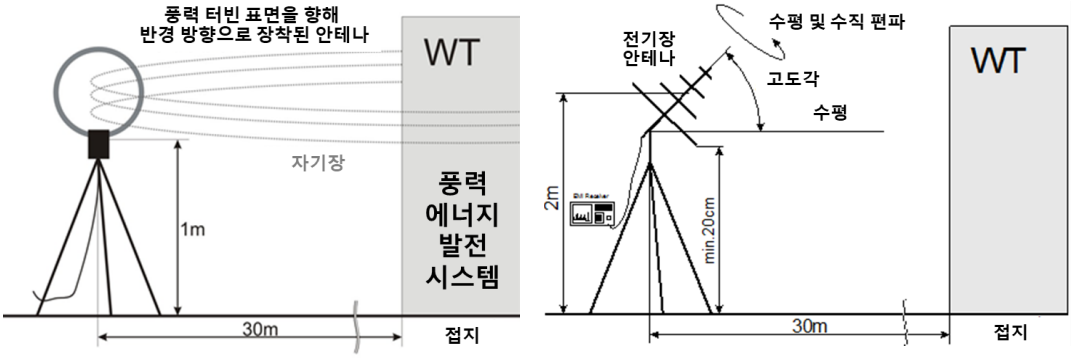
주파수	거리별 전기장 허용기준[dB(μV/m)]		
	30m	65m	100m
30~230㎒	30	23.28	19.54
230~1,000㎒	37	30.28	26.54

〈자료〉 CISPR 11에서 제공하는 30m 허용기준을 근거로 거리 감쇠를 반영하여 한국전자통신연구원 자체 작성

$$E_{std}[dB\mu V/m] = E_{mea}[dB\mu V/m] + 20\log\frac{d_{mea}}{d_{std}}[dB] \quad (1)$$

여기서, d_{mea}는 실제 측정 거리이고 d_{std}는 표준 측정 거리이며, E_{mea}는 실제 측정 거리에서의 전기장 세기이고 E_{std}는 표준화된 측정 거리에서의 전기장 세기이다.

측정 주파수대역에 따라 낮은 주파수대역(50㎑~30㎒)에서는 루프 안테나를 이용하여 자기장을 측정하고, 높은 주파수대역(30㎒~1㎓)에서는 대수주기 다이폴 배열(Log Periodic Dipole Array: LPDA) 안테나를 사용하여 전기장을 측정하도록 제시되어 있다. 자기장 안테나는 [그림 6a]와 같이 지면에서 1m 위에 있어야 하고, 안테나는 반지름 방향으로 설치되어야 하며 최소 루프 면적이 터빈의 표면을 향하여 제공되어야 한다. 또한, 전기장 안테나는 [그림 6b]와 같이 안테나 중심이 지면에서 2.0m±0.2m 위에 있어야 하고 안테나의 가장 낮은 부분이 최소 0.2m 위에 있어야 한다. 전기장 안테나는 수직 및 수평으로, 자기장 안테나는 동축(coaxial) 및 동면(coplanar) 방향으로 측정해야 한다.



(a) 자기장 세기 측정용 루프안테나 (b) 전기장 세기 측정용 LPDA 안테나

〈자료〉 IEC TC88, 88/724/CD, 2019. 5. 24.

[그림 6] 주파수대역별 측정용 안테나 배치

2. 전자파 내성(EMS) 측정

풍력에너지발전시스템에 대한 전자파 내성(Electromagnetic Susceptibility: EMS) 요구사항은 전체 시스템이 아닌 풍력에너지발전시스템을 구성하는 하위 시스템에 산업 환경에서의 내성평가에 대한 공통 규격인 IEC61000-6-2[12]를 적용한다. IEC61000-6-2에서 요구하는 내성 시험 항목과 각 항목별 측정 표준은 다음과 같다.

- 정전기 방전(Electro Static Discharge: ESD): IEC61000-4-2[13]
- 방사성 내성(Radiated Immunity): IEC61000-4-3[14]
- EFT 내성(Electrical fast transient/Burst): IEC61000-4-4[15]
- 서지 내성(Surge): IEC61000-4-5[16]
- 전도성 내성(Conducted Immunity): IEC61000-4-6[17]
- 자기장 내성(Power Frequency Magnetic Field): IEC61000-4-8[18]
- 전압강하, 짧은 정전 및 전압 변동(Voltage dips, short interruptions and voltage variations): IEC61000-4-11[19]
- 고조파 및 상호 고조파 내성(Harmonics and Inter-harmonics): IEC61000-4-13[20]

V. 기타 측정방법

전자파적합성을 포함한 풍력에너지발전시스템에 대한 표준은 주로 유럽을 중심으로 추진되고 있다. 본 절에서는 유럽에서 발행되고 실제 일부에서 적용되고 있는 풍력에너지발전시스템 전자파적합성 관련 문헌을 간단히 소개한다.

국제대전력망협의회(Conseil International des Grands Reseaux Electriques: CIGRE)은 1921년 프랑스 파리에서 창립되어 전 세계 전력회사와 산업계, 대학 및 연구기관을 비롯해 관련 전문가가 참여하는 전력 분야 최대 국제기구이며, 전력산업(발전, 송전, 변전, 배전계통 및 주요 전력기기) 기술 발전을 위해 전 세계 101개 회원국, 1,250개 기관(전력회사, 기업, 대학, 연구기관) 및 15,000명 이상의 전문가가 참여하고 있다. CIGRE 산하 WG C4.30에서 풍력발전시스템 EMC를 담당하고 있으며 발전 및 변전설비에 대한 전자파적합성 관련 문서를 발행하였다.

- TB(Technical Brochure) 535[21]: 발전 및 변전 시설 전자파적합성
- TB(Technical Brochure) 707[22]: 풍력에너지시스템에서의 전자파적합성

TB 707은 풍력에너지시스템에서 전자파적합성 확보를 위한 지침 문서로 주요 내용은 다음과 같다.

- 낙뢰 장해: 낙뢰가 풍력에너지발전시스템에 근접해 있어서 발생하는 문제로 직접 및 간접(또는 유도) 효과를 모두 발생
- 터빈 블레이드 충전: 블레이드와 바람 사이의 상대적인 운동으로 인해 블레이드의 마찰 전기 충전으로 인해 발생하는 현상으로 전자파장해의 원인
- 풍력 터빈 변환기: 나셀 소형화로 인해 나셀 내부의 변환기로 인해 열악한 전자기 환경 조성
- 대규모 풍력 발전 단지 내의 상호 연결: 풍력 발전 단지의 풍력 터빈 상호 연결 케이블을 통해 잠재적인 전도성 전자파장해 발생
- 전자파적합성 규정 준수: 대형 풍력 터빈의 전자파 방출에 대한 적합성 해결하는 방법
- 기타 고출력 전자기장(예; 레이더 간섭, 고고도 핵 전자파펄스, 의도성 전자장해) 노출: 풍력 터빈 내 전자 장치가 설계 단계에서 이를 고려해야 함
- 전자파적합성 설계에 대한 설명과 실제 예제가 포함

풍력에너지발전시스템에 대한 전자파적합성 측정·평가를 위한 절차나 방법은 품질 보증 및 위험 관리를 담당하는 국제적 기업인 노르웨이 DNV GL(www.dnvgl.com)사에서 자체적으로 관리하는 문서인 “풍력터빈의 전자파적합성(DNVGL-RP-0440)[23]”이 있다. 해당 문서에서는 풍력터빈과 그 구성 요소 및 시스템에 대해 전자파적합성을 고려한 설계의 원칙, 기술적 요구사항 그리고 지침을 제공하고 풍력에너지발전시스템에 관한 전자파적합성 요구사항과 시험에 대한 절차를 정의한다. DNV GL 문서의 주요 내용은 다음과 같다.

- 풍력 터빈 전자파적합성 요구사항: IEC 61400-1 방출 및 내성 기준
- 전자파적합성을 고려한 설계 요구규격
  * 전자파장해 저감 방법
  * 주요 부품에 대한 전자파장해 저감 방법
- 전자파적합성 시험
  * 방사성 방출(radiated emission)
  * 전도성 방출(conducted emission)

- 풍력터빈 내성 평가 관련 성능 기준 정의
  * IEC 61000-6-2: 2005에 따른 성능 기준 정의

VI. 결론

최근 들어 전기·전자 기기의 사용이 급속히 증가하고, 더불어 환경 보호에 관한 중요성이 높아져 친환경 발전시스템에 관한 관심이 높은 실정이다. 실제로 풍력 발전을 포함한 친환경 발전시스템 관련 연구 개발이 많아지고 이를 이용한 전력의 생산도 많아지고 있다. 친환경 발전시스템을 전자파 관점에서 안정적으로 운용하기 위해서는 전체 시스템에 대해 전자파적합성 관리가 필요하다. 특히, 유럽에서는 전자파적합성 지침 2014/30/EU를 통해 고정설비에 대해 전자파적합성을 관리하고 있으며, 국내에서도 주요 설비의 전자파 안전성을 위해 전자파 관리 체계를 마련하고 있다. 따라서 풍력에너지발전시스템의 주요 안전기능 및 환경적 영향과 관련 전체 풍력 발전 시스템과 내부에 설치되는 단일 부품들의 전자파적합성은 점점 더 중요해지고 있어 이에 대한 적극적 대응이 시급하다.

본 고에서는 풍력에너지발전시스템을 포함하는 고정 설비에 대한 전자파적합성 관리의 필요성을 간단히 소개하였으며, 풍력에너지발전시스템에서 전자파적합성을 확보하기 위한 전자파적합성 관련 표준화 동향에 관해 기술하였다. IEC 산하 풍력에너지발전시스템을 담당하는 기술위원회인 TC88에서 현재까지 진행 중인 전자파적합성 표준화 상황을 기술하고, IEC TC88 PT-40에서 현재 검토 중인 전자파적합성 측정방법 관련 표준 초안 중 주요 내용을 기술하고, 마지막으로 IEC 표준 이전에 현재 현장에서 일부 적용하고 있는 풍력에너지발전시스템 전자파적합성 관련 기술문서의 주요 내용을 소개하였다.

안정적으로 발전시스템을 운용하고 이를 통해 전력을 지속적으로 생산하기 위해서는 전자파로 인한 문제의 발생 가능성을 낮추고 이를 유지·관리하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서 국내에서도 풍력에너지발전시스템을 포함한 주요 에너지발전시스템에 대해 전자파 관점에서의 관리 방안에 관한 연구와 더불어 관련 제도 마련이 시급한 것으로 보인다.

참고문헌

[1] EU EMC Directive 3rd Edition, 2014/30/EU, 2014, 3. 29.

[2] 한국전자통신연구원, “ICT 시설 등 주요 인프라의 전자파 안전성 연구,” 2015.
[3] 권종화, 황정환, “풍력에너지 발전시스템 EMC 측정 및 평가 방법,” 한국풍력에너지학회 2021 춘계학술대회, 제주 메종글래드 호텔, 2021. 7. 5.~7.
[4] IEC TC88, 88/555/DC, Request for national comments on the development of an EMC standard in CENELEC TC 88 or alternatively in IEC TC 88, 2015. 5. 29.
[5] IEC TC88, 88/568/INF, Compilation of comments on 88/555/DC, 2015. 10. 9.
[6] IEC TC88, 88/573/NP, IEC 61400-X Ed 1.0 Wind energy generation systems - Part X: Electromagnetic Compatibility (EMC) - Requirements and test methods, 2015. 11. 27.
[7] IEC TC88, 88/582/RVN, Wind energy generation systems - Part 40: EMC - Requirements and test methods, 2016. 3. 11.
[8] IEC TC88, 88/671/CD, Wind energy generation systems - Part 40: EMC - Requirements and test methods, 2018. 3. 30.
[9] IEC TC88, 88/722/CC, Wind energy generation systems - Part 40: EMC - Requirements and test methods, 2019. 5. 17.
[10] IEC TC88, 88/724/CD, Wind energy generation systems - Part 40: EMC - Requirements and test methods, 2019. 5. 24.
[11] IEC CISPR, CISPR 11 Ed6.0: 2015, Industrial, scientific and medical equipment - Radio-frequency disturbance characteristics - Limits and methods of measurement
[12] IEC TC77, IEC61000-6-2 Ed3.0: 2016, EMC - Part 6-2: Generic standards - Immunity standard for industrial environments
[13] IEC TC77, IEC61000-4-2 Ed2.0: 2008, EMC - Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test
[14] IEC TC77, IEC61000-4-3 Ed4.0: 2020, EMC - Part 4-3 : Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test
[15] IEC TC77, IEC61000-4-4 Ed3.0: 2012, EMC - Part 4-4: Testing and measurement techniques - Electrical fast transient/burst immunity test
[16] IEC TC77, IEC61000-4-5 Ed3.1: 2017, EMC - Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test
[17] IEC TC77, IEC61000-4-6 Ed4.0: 2013, EMC - Part 4-6: Testing and measurement techniques - Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields
[18] IEC TC77, IEC61000-4-8 Ed2.0: 2009, EMC - Part 4-8: Testing and measurement techniques - Power frequency magnetic field immunity test
[19] IEC TC77, IEC61000-4-11 Ed3.0: 2020, EMC - Part 4-11: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current up to 16 A per phase
[20] IEC TC77, IEC61000-4-13 Ed1.2: 2015, EMC - Part 4-13: Testing and measurement techniques - Harmonics and interharmonics includingmains signalling at a.c. power port, low frequency immunity tests
[21] CIGRE, TB535, EMC within Power Plants and Substations, CIGRE WG C4.208, 2013. 4.
[22] CIGRE, TB707, EMC in Wind Energy Systems, CIGRE WG C4.30, 2017. 11.
[23] DNVGL, DNVGL-RP-0440, Recommended Practice: Electromagnetic compatibility of wind turbines, 2016. 3.