

2016 American Solar Challenge (ASC) 참관 및 World Solar Challenge 소개



박준수
한국교통대학교
자동차공학과 교수

요약

최근 지구온난화 및 각종 미세먼지 문제 등을 해결하기 위한 방안으로 친환경 운송수단에 대한 관심이 증폭되고 있다. 이에 따라 자동차 배기가스 규제는 더욱 강화되고 있으며, 내연기관이 아닌 새로운 동력원을 활용하는 친환경 자동차의 개발이 요구되고 있다. 이러한 요구를 만족시키며, 지속 가능한 운송수단에 대한 연구 및 개발을 자극하기 위해서 지난 30년 전부터 American Solar Challenge/ World Solar Challenge 라는 이름의 태양광 자동차 랠리가 미국 및 호주에서 진행되어 왔다. 본 기고에서는 American Solar Challenge (ASC) 참관 내용 및 World Solar Challenge에 대해 소개하며, 이를 바탕으로 향후 솔라카 개발 방향에 대해 논하고자 한다.

서론

최근에 들어 하이브리드 자동차, 전기자동차 및 수소연료전지 자동차 등 기존 내연기관의 단점을 보완하거나 대체하는 친환경 자동차의 상용화가 이루어지고 있다. 하지만 전기자동차 및 수소연료전지 자동차들은 외부에서 전력 및 수소 등의 연료/동력원을 공급받아야 하므로, 이와 같은 친환경 자동차의 대중화를 위해서는 전력망 및 수소 배관망 구축 등의 인프라 확충 문제가 선제적으로 해결되어야 한다. 그러나 인프라 확충 문제는 많은 시간과 비용이 필요하여 단시일 내에 해결하기 어려워, 자가 발전 및 자가 충전이 가능한 솔라카에 대한 관심이 최근에 들어 증가하고 있다.

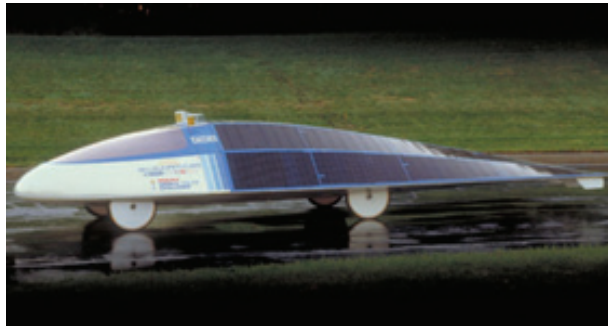


그림 1. 1987년 WSC 우승차량, GM Sunraycer [1]



그림 2. 2015년 WSC 우승차량, Nuon Solar Team NUNA 8 [2]

솔라카는 차량 전면 및 상부에 장착된 솔라셀을 통해 자가 발전 및 충전이 이루어지며, 이를 바탕으로 모터를 구동하는 형태로 구성되어 있다. 솔라카의 외형적 특징으로는 다수의 솔라셀 장착을 위한 넓고 평평한 형태의 상판과 공기저항을 최소화 시키기 위한 유선형의 차체를 들 수 있다. 더불어 차량의 무게를 줄이기 위해 초창기에는 알루미늄 강관들을 이용하여 차체를 제작하였으며, 최근에는 탄소복합 소재 (CFRP) Monocoque Body(외형과 프레임이 일체인 차체)로 차체 제작이 이루어져 전체 차체 무게를 크게 감소시키고 있다.

2016년 ASC 및 2017년 WSC 기준으로 참가차량의 솔라셀 설치 면적은 최대 4 ~ 5m² 이며 이에 따른 솔라셀 출력은 1,000 ~ 1,500 W 내외이다. 대부분의 차량들은 22 ~ 24% 내외의 고효율 Silicon 솔라셀을 사용하고 있다. 배터리 사용 전력량은 5.0 kWh 내외이며, 배터리의 중량은 Li-ion 배터리 기준으로 20 kg을 초과할 수 없다. 위와 같은 규정은 솔라셀 및 배터리의 기술발전에 따라 대회마다 변경되어 왔다. 그 결과 그림 1에서 보이는 바와 같이 30년 동안 솔라카의 크기 및 외형이 크게 변화되었으며, 특히 솔라셀 설치 면적의 경우 1987년 1회 WSC 대회에 비해 2017년 대회는 1/2 수준으로 감소하였다. 그 결과 1회 WSC 우승 차량인 GM의 Sunraycer의 경우 8,800 장의 솔라셀이 장착되어 약 1,500 W의 출력을 생산하였으나, 현재 대회 참가차량들은 5인치 솔라셀 260 장으로 동일한 출력을 생산하고 있다. 이와 같은 솔라셀 기술의 발달로 솔라카의 전체 길이를 8 m에서 4 m로 줄일 수 있었으며,

그 결과 일반 도로에서 달릴 수 있는 개인 운송수단으로 솔라카의 가능성이 크게 증가하였다.

이와 같이 Solar challenge 는 지난 30년 동안 솔라카의 대중화 및 지속적인 연구개발에 기여했을 뿐만 아니라 태양광 발전 기술의 향상 및 적용대상의 확대에도 크게 기여해왔다. 최근에 들어 친환경 운송수단의 관심이 증가됨에 따라 국내에서도 일부 대학 및 지자체 등을 중심으로 솔라카 개발 및 Solar Challenge 참가를 위한 노력이 이루어지고 있다. 그래서 본 기고를 통해 국내에 솔라카 및 태양광 발전에 대한 관심을 더욱 증대시키고자 2016년 8월에 저자가 참관했던 ASC 및 현재 참가 준비하고 있는 2017 WSC 에 대해 소개를 하고자 한다.

본 론

1. 2016 American Solar Challenge 참관기

1) ASC 대회 및 운영방식 소개

America Solar Challenge는 1990년부터 2년에 한번씩 북미 대륙을 횡단하는 대회로써, 올해에는 2016년 7월 29일부터 2016년 8월 6일 (6박 7일) 동안 Cuyahoga Valley NP, OH 에서 출발하여 Wind Cave NP, SD까지 총 3,180 km (1,975 mi)을 완주하는 것으로 총 12 팀이 참가하였다. 올해 ASC에는 University of Michigan, Minnesota, Illinois, Toronto 등 대부분 미국/캐나다 대학 팀이 참여하였으며, 북미 외에서는 스위스의 ZHAW School of Engineering

에서 참가하였다.

2016년도 ASC 는 오전 9시 ~ 오후 5시까지 하루 최대 8시간 주행이 가능하며, 운전 외 충전은 오전 7시 ~ 9시, 오후 6시 ~ 8시까지 하루 총 4시간 충전이 이루어진다. 위와 같은 스케줄을 6일간 반복하여 총 3,180 km을 오직 태양광 발전을 통해서만 차량을 구동하여 완주하는 대회이다.

대회의 원활한 진행을 위해 주최측에서는 Check point 또는 Stage stop 을 지정하였다. 전체 경로를 크게 4개의 Stage stop으로 나누고, 그 사이 사이에 Check point를 설치하여 운영된다. Check point는 주최 측에서 공지한

시간 내에 지정된 장소에 도착하여 45분동안 간단히 정비 및 충전이 이루어지는 곳이다. Check point 통과 후 당일 오후 5시까지 주행이 이루어지며, 주행 완료 후 근처 야영지에서 숙박이 이루어진다.

다음 날 오전 9시에 출발하여 오후 5시 이전에 정해진 Stage stop에 도착해야 하며, 도착 후 Stage stop에서 야영이 이루어지게 된다. 각 Stage 별로 수상이 이루어지며, 만약 정해진 시간 내에 Stage 및 Check point에 들어오지 못할 경우 벌칙 시간을 부여 받고 지속적으로 대회에 참여는 가능하다. 최종적으로 각 Stage 별 기록을 합산하여 최종 우승팀을 뽑게 된다. 2016년 대회의 경우 잣은 우천과

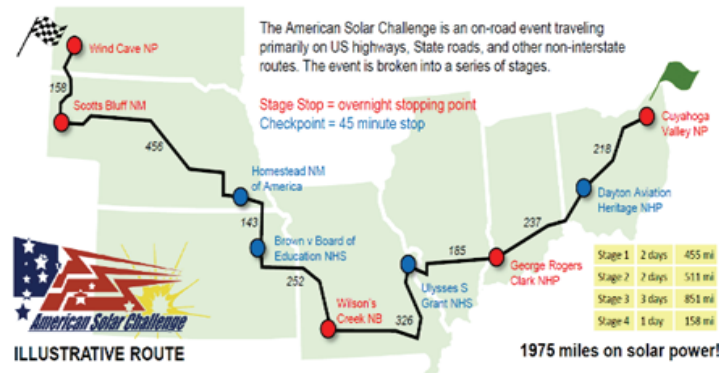


그림 3. ASC 주행 경로

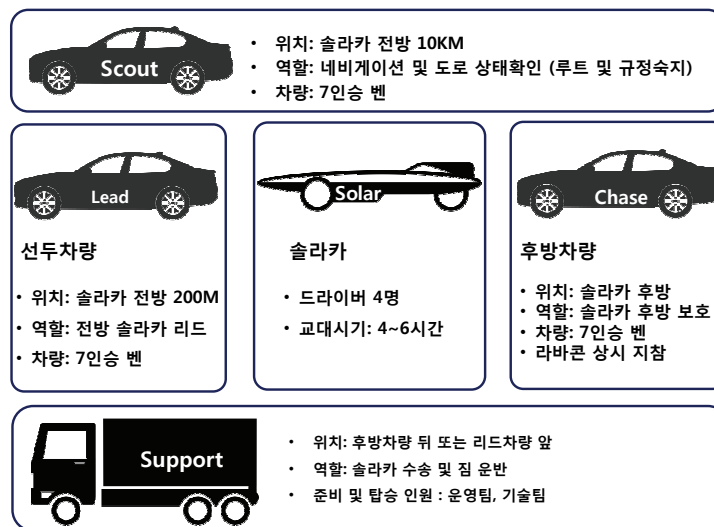


그림 4. 솔라카 참가 팀 차량 구성



그림 5. Stage start 대기 중 인 Appalachian state university 차량



그림 6. 오후 충전을 위한 차량 거치

나쁜 기상상황 때문에 솔라셀을 이용하여 원활한 차량 충전이 매우 어려운 상황 이었다. 그 결과 University of Michigan 팀만 전체 경로를 성공적으로 완주하여 우승하였다.

대회 참여 팀의 구성은 크게 전방의 Scout 차량, 선두차량, 솔라카, 후방차량 및 Support 차량 등으로 구성된다. Scout 차량은 솔라카 전방 약 10 km 앞서서 주행하며 후방의 솔라카에 도로 및 교통 상황 등의 정보를 제공한다.

선두차량, 솔라카 및 후방차량은 한 무리를 이뤄 주행하게 된다. 선두차량 및 후방차량은 솔라카 앞 뒤에 위치하여 다른 일반 차량으로부터 솔라카 보호를 할뿐만 아니라, 솔라카에서 발생하는 긴급 상황에 대처하기 위한 엔지니어들이 탑승하게 된다.

최후방의 Support 차량은 대회를 운영하는 기간 동안 필요한 자재, 공구 및 야영용품을 싣고 이동하게 된다. 그러므로, Support 차량은 주최측에서 제공하는 최단길 및

고속도로를 주행하게 된다. Check point 및 Stage stop 에는 솔라카 보다 먼저 도착하여 차량 정비, 식사 및 야영 등을 준비하게 된다.

솔라카의 경우 차체가 낮아 전후방의 시야 확보가 매우 어렵다. 이를 극복하기 위해서 전/후방 지원차량과 통신을 통해 도로의 사정 및 현재 운행정보를 교환하며 주행이 이루어진다.

솔라카의 운전은 4~5명의 드라이버가 교대하며 이루어진다. 솔라카 내부에는 별도의 차량 공조 시스템이 없어 차량 내부의 온도가 최대 40 ~ 50 도까지 상승하여 한 명의 드라이버가 오랜 시간 동안 운전하기 어려운 상황이다. 그러므로 4 ~ 6 시간 간격으로 드라이버를 교체하게 된다.

배터리 충전은 출발 전 오전 2시간, 도착 후 오후 2시간 하루 총 4시간이 이루어진다. 배터리를 충전하기 위해서 배터리 팩을 솔라카의 동력부와 분리한 후 햇볕이 잘 드는 곳으로 이동하여 충전이 이루어진다. 이때 햇볕이 잘 드는 방향으로 차량 상판의 솔라셀이 향하도록 거치하게 된다. 각 팀들은 햇볕이 잘 드는 자리를 선점하기 위해 미리 자리를 확보하기도 하며, 그림 6과 같이 거치대를 제작하여 차량 상판을 고정시키기도 한다.

2) ASC 참가 솔라카의 구성

ASC 대회 규정상 5 m² 이하의 솔라셀 및 20 kg 이하의 차량 배터리만 설치가 가능하다. 그 결과 대회 참가 차량의 수치적인 스펙들은 그림 7에서 보이는 바와 같이 대동소이 하다. 차량에 장착된 솔라셀의 용량은 1,000 ~ 1,500 W 내외이며, 대부분의 팀들이 현재 시중에서 효율이 제일 높은 SunPower 사의 실리콘 솔라셀을 사용하였다. 그림 8에서 보이는 바와 같이 일부 팀들은 5 in cutting cell을 사용하여 솔라셀 모듈 설치 공간 활용을 극대화 하였다.

배터리 또한 5 kWh 내외의 리튬-이온 전지가 사용되었으며, 모터의 경우 팀 별로 1개 또는 2개의 In-wheel 모터를 장착하였다. 대부분의 전장장치 및 배선은 차량 상판 및 하판의 유휴 공간을 이용하여 정리하였으며, 운전자의

<p>Southern Illinois Univ Edwardsville (SIUE) #57 NOVA</p>  <p>L x W x H : 4.52m x 1.70m x 1.12m Weight : 205kg Array : 1300W SunPower Silicon Batteries : 5.1kWh Lithium-Ion Motor : 7.5kW NGM SCM150 Wheels : 3 NGM Style Rims 16" Chassis : 4130 Chromoly Space Frame</p>	<p>University of Toronto (Blue Sky) #77 Horizon</p>  <p>L x W x H : 4.50m x 1.70m x 1.20m Weight : 202kg Array : 1200W Gochermann Silicon Batteries : 5.0kWh Lithium-Ion Motor : NGM DC Brushless Wheels : 4 Bridgestone Chassis : Carbon Fiber Sandwich Boards</p>	<p>Ecole de Technologies Superieure (ETS) #92 Eclipse 9</p>  <p>L x W x H : 4.50m x 1.80m x 1.15m Weight : 175kg Array : 1400W Gochermann Silicon Batteries : 5.0kWh Lithium-Ion Motor : 2 Csiro/Marand/Custom Wheels : 4 Custom Aluminum 16" Chassis : Titanium Space Frame</p>
<p>McMaster University #116 Spitfire</p>  <p>L x W x H : 5.00m x 1.80m x 1.40m Weight : 250kg Array : 1200W SunPower Silicon Batteries : 4.1kWh Lithium-Ion Motor : Mitsuba 3 Phase Brushless DC Wheels : 3 Custom Aluminum 16" Chassis : 6061-T6 Al Space Frame</p>	<p>Western Michigan University #786 Farasi</p>  <p>L x W x H : 4.45m x 1.70m x 1.14m Weight : 205kg Array : 1340W SunPower Silicon Batteries : 5.1kWh Lithium-Ion Motor : 2 CSIRO Wheels : 4 Ecopia 16" Chassis : Carbon Fiber Composite</p>	<p>Appalachian State (Team SUNERGY) #828 Apperion</p>  <p>L x W x H : 4.97m x 1.72m x 1.21m Weight : 190kg Array : 1200W SunPower Silicon Batteries : 4.2kWh Lithium-Ion Motor : Mitsuba M2096-DIII Wheels : 3 Mitsuba Aluminum 14" Chassis : Aluminum Space Frame</p>

그림 7. ASC 참가 차량 스펙



(a) Cutting cell 장착 차량



(b) Normal cell 장착 차량

그림 8. PV 모듈 비교

안전을 위해 운전석과는 격리시키기 위한 노력이 엿보였다. 전장장치로는 배터리, 파워 상태모니터, 계기판, 크루즈모드, 전등 및 경적 등이 설치되어 있으며 운전석에서

차량의 상태를 확인할 수 있도록 제작되어있다.

차체 제작은 많은 팀들이 CFRP를 이용하여 차량의 무게를 200 kg 이하로 떨어뜨렸다. 더불어 구조적 강도를

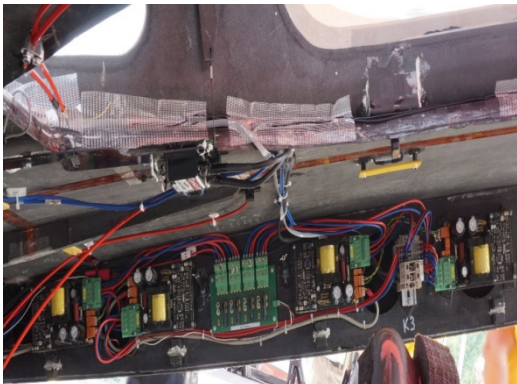
강화시키기 위해서 격자구조의 폴리아미드 허니컴 및 레이저커팅 알루미늄 보강대를 사용하였다. 그 외 일부 팀의 경우 steel/ aluminum 프레임을 이용하여 차체를 제작하기도 하였다.

각 팀 별 사용되는 솔라셀, 배터리 및 모터 등의 대부분의 전장장치 및 동력전달 부품은 표준화된 부품 또는 현장에서 효율이 최고 높은 부품을 사용하여 수치상 스펙은 비슷하나, 차량의 디자인의 경우 각 팀 별 특색에 따라 다양한 형태를 띄고 있다.

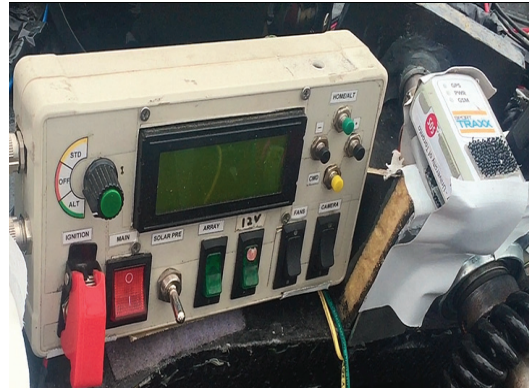
전체적인 차량 디자인의 경우 고속 주행 시 공기저항을 줄이기 위한 형태를 보이고 있다. 일반적인 승용차의 경우 항력계수가 0.25 내외이나, 대회에 참가하는 솔라카의 경

우 극단적인 공기 역학적 설계를 통해 항력계수를 0.1 내외로 낮췄다. 이를 위해 솔라카의 차체형상은 기존 차량의 차체형상과 다르게 유선형 형태를 띄고 있으며, 압력항력 저항을 줄이기 위해 각 모서리 부분이 날카로운 엷지 형태를 띄고 있다. 바퀴 휠을 보호하기 위해 설치되는 휠 커버 및 운전석 캐노피 또한 유선형으로 제작하여 항력에 의한 저항 손실을 최소화 하기 위해 신경 써서 제작이 이루어지고 있다. 그 결과 항력계수가 낮아짐에 따라 기존 차량에 비해 출력이 낮음에도 불구하고 최대속도 100 km/h, 하루 최대 8시간 운전이 가능해 진다.

외관 상으로 각 팀 별 차이가 발생하는 대표적인 부분은 바퀴의 개수 및 운전석의 위치이다. 바퀴의 개수에 따라

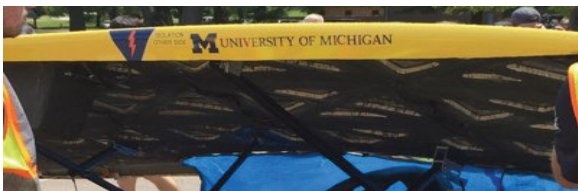


(a) MPPT 설치 위치



(b) 전장 모듈 스위치

그림 9. 솔라카 전장 장치



(a) 상판 강화 프레임



(b) 하판 강화 프레임

그림 10. 차체 강화 프레임 구조



(a) University of Michigan 차량



(b) Principia college 차량

그림 11. 솔라카 운전석 위치

차량 전체의 형태 및 구조가 결정되며, 이에 따라 운전석의 위치가 결정되게 된다. 3륜차 형태의 차량들은 배터리 및 각종 전장장치들이 차량 전면 부에 위치하며, 운전석은 중앙부에 위치하는 삼각형 형태를 띠고 있다. 반면, 4륜으로 차체를 제작한 팀의 경우 좌측 또는 우측에 운전석을 배치하며, 운전석 반대쪽에 배터리 팩을 설치하므로 차량 무게 배분에 신경썼다.

그리고 차량 중앙부는 앞-뒤를 관통 하도록 디자인을 함으로써 항력저항을 크게 감소시켰다.

이와 같이 솔라카의 공기역학적 설계를 위해서 각 팀들은 많은 실험과 전산해석 바탕의 최적 형상 연구에 많은 시간 및 투자를 하고 있다. 그 결과 각 팀 별 차량 디자인이 상이하며, 솔라카 각종 부품의 표준화에도 불구하고 참가 팀 별 차량 성능 차이가 발생하는 주된 이유로 차체 형상에 따른 공력성능이라고 판단된다.

2. World Solar Challenge 소개

호주에서 개최되는 World Solar Challenge 는 1987년 호주 사막 북단 Darwin에서 남단 Adelaide까지 총 3,022 km를 횡단하는 대회로 2015년 기준 Challenger Class에 총 27개 팀이 참여하였다. ASC는 주로 북미 지역의 대학들이 참석하는 것과 다르게 WSC 경우 유럽, 일본, 미국 및 중국 등 다양한 나라의 대학에서 대회에 참가한다. 국내에서는 국민대학교가 2013년부터 2회 연속 Challenger

class에 참여 하였고, 2015년에는 완주에 성공하였다.

WSC 는 크게 Challenger class, Cruiser class 와 Adventure class로 나뉜다. Challenger class 는 기존부터 꾸준히 진행되었던 전통적인 방식으로, 최고의 효율을 낼 수 있는 솔라카를 제작하여 3,022 km을 최대한 짧은 시간에 완주하는 것을 목표로 한다. 솔라셀 모듈 배열 설치 면적은 다른 Class 규정보다 적은 4 m²으로 제한하며, 운전자는 1명 이다. 하지만 그 외 차량에 대한 규정을 두지 않아 각 팀들의 창의성을 바탕으로 최고 효율의 솔라카를 제작하여 경연하게 된다.

Cruiser class의 경우 상용화 할 수 있는 솔라카를 제작 하고 주행하는 것을 목표로 한다. 그러므로, Challenger class와 다르게 두 명 이상이 차량이 탑승할 수 있도록 좌석이 확보되어야 한다. 외부에서 부족한 전력 일부를 충전 을 받을 수 있는 것도 Challenger class 와 다른 점이다. 상용화를 목표로 하는 차량이므로, 차량형태는 기존의 승용차와 유사한 형태를 띠고 있으며, 많은 양의 전력량이 요구되므로 솔라셀 모듈 배열 면적은 Challenger class 보다 넓은 5 m²까지 허용된다. 대회에서 우승은 3,022 km 을 완주하는데 걸린 시간, 탑승인원 및 외부 공급 전력량을 모두 점수화 하여 순위를 정하게 되는데, 2015년 네덜란드의 TU Eindhoven이 일본의 Kogakuin 대학 보다 완주 기록은 뒤쳐지나, 탑승 인원 및 외부 공급 전력량 등의 점수에서 앞서 1등을 차지하였다.



그림 12. 2015 WSC 주행 경로 [3]



그림 13. Cruiser class 차량 외형

Adventure Class는 비경쟁부문으로 앞선 Challenger/Cruiser class 보다 차량 제작 제한 조건을 완화하여 새로

운 팀들의 참가를 독려하고 솔라카에 대한 저변을 확대하기 위해 만든 부문이다.

결론

국내에서도 솔라카에 대한 관심이 증대되고 있고, 2017년 WSC에는 국민대학교와 한국교통대학교가 참가하기 위해 현재 많은 준비를 하고 있다. 하지만 안타깝게도 국내에는 솔라카 관련 산업이 미비하여 대회준비를 위한 각종 정보 및 부품들은 외국에서 확보하고 있는 상황이다. 본 기고를 통해 소개한 각종 솔라카 경진대회를 통해 솔라카에 대한 관심 및 흥미를 증진시키고, 나아가 이러한 솔라카 경진대회가 국내 솔라카 관련 산업의 연구/개발의 촉매 역할을 하여 산업 및 연구 관련 저변이 확대되기를 기대해 본다.

참고문헌

- [1] Forgotten Concept: 1987 GM Sunraycer, <http://www.autoblog.com/2010/04/30/forgotten-concept-1987-gm-sunraycer/>
- [2] Nuon Solar Team Homepage, <http://www.nuonsolarteam.nl>
- [3] World Solar Challenge Homepage, <http://www.worldsolarchallenge.org>