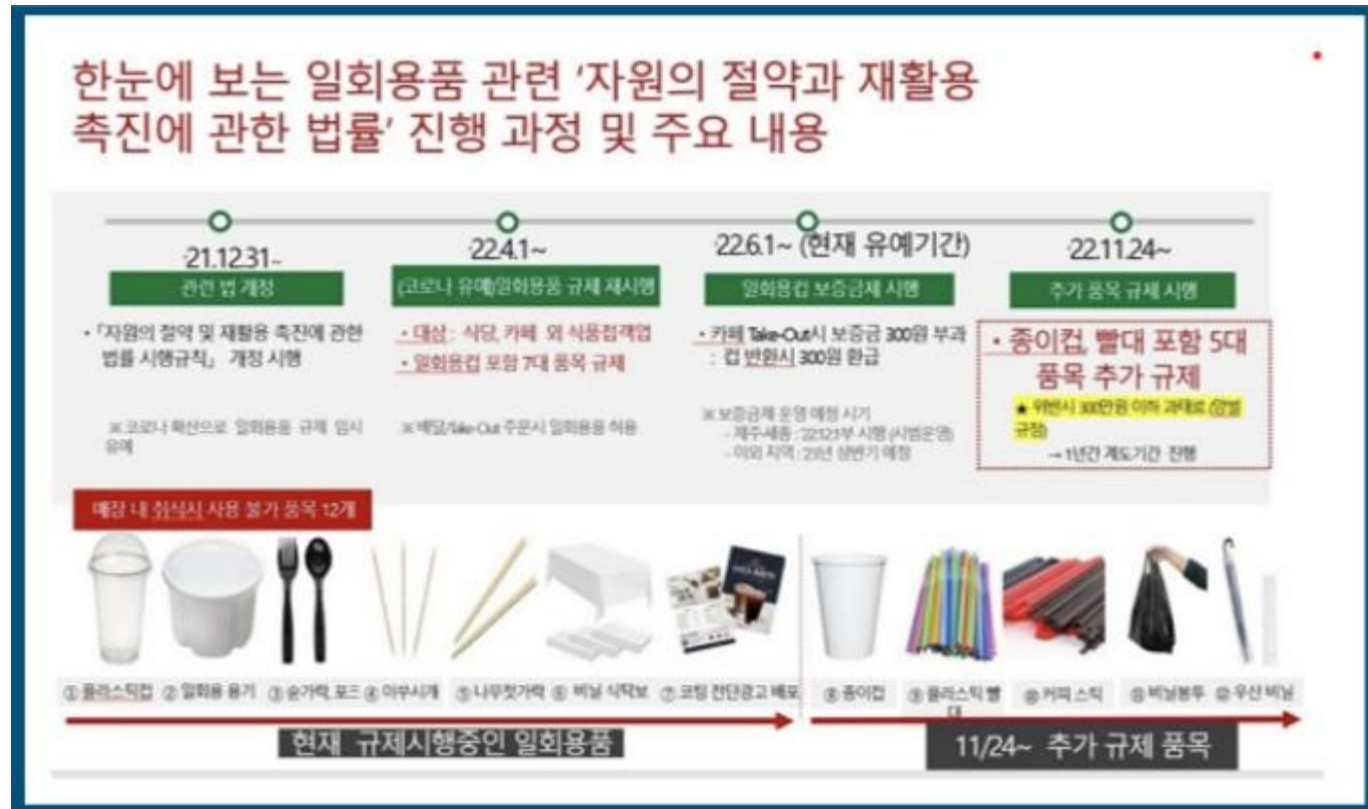


2023-1 파란학기제 성과발표회

공급사슬의 지속가능성 연구 탄소발자국과 에너지발자국 평가

팀명: 지구방위대

주제 선정 배경



- EU, 온실가스 감축을 위한 탄소배출 규제 강화

- 우리나라 2020년 '2050 탄소 중립' 공식 선언

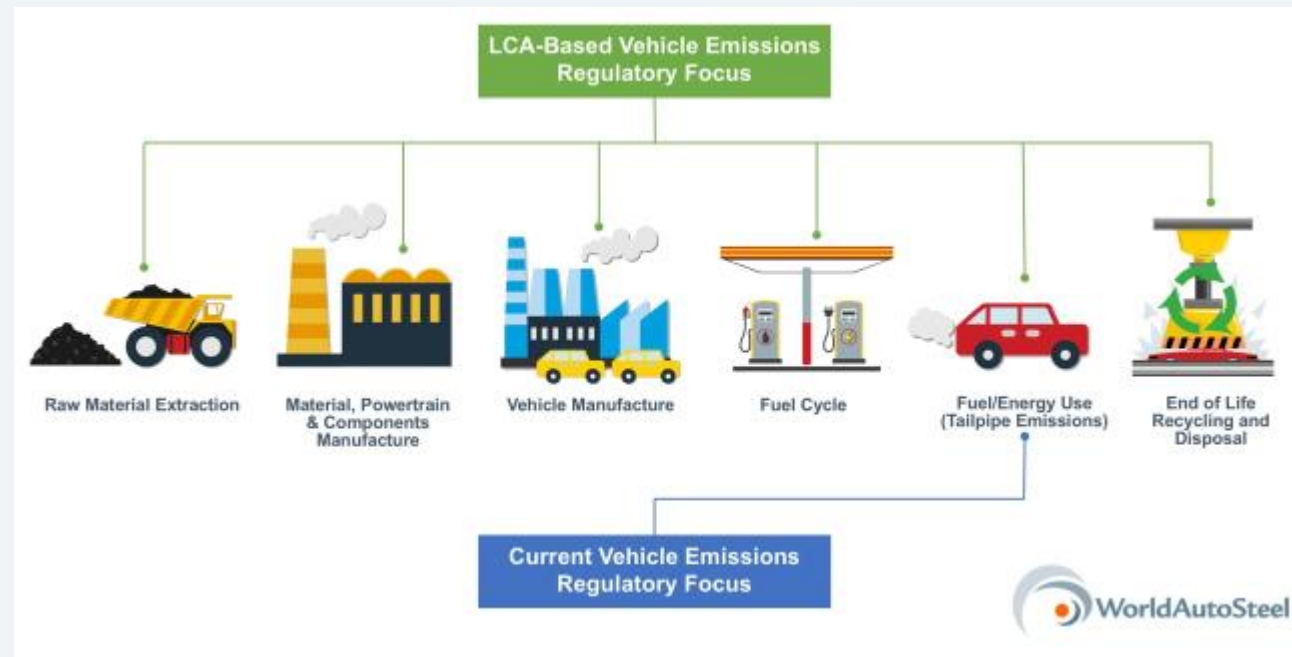
RE100, 탄소배출권거래제 등 다양한 제도를 실행하며 전 세계적으로 환경 보호를 위해 노력

지구방위대 팀 목표

LCA란?

전과정평가(life-cycle assessment)로,

제품 · 제조공정 및 서비스를 포함한 모든 산업활동이 환경에 미치는 영향을 평가하는 방법



- 일회용컵의 LCA를 통해 환경에 미치는 영향에 대해 파악
- 대중들에게 일회용컵이 환경에 미치는 영향에 대해 소개

지구방위대 팀 활동보고

- 1 ESG 세미나 총 4회 진행 및 참여
- 2 LCA 논문 조사 및 소프트웨어 조사
- 3 전세계 범위 일회용품 공급망 조사
- 4 LCA 소프트웨어 구동 및 결과 도출
- 5 LCA 결과를 통한 최적화 모델 도출



지구방위대 팀 성과발표

1. 전세계범위 일회용컵 공급망 조사 및 시나리오 수립

공급망 시나리오

목재는 미국 펜실베이니아 / 중국 장쑤성 창저우 / 유럽 / 호주(멜버른 근처) / 추가로 브라질 아마존도 가능

펄프 공장은 미국 펜실베이니아 / 중국 장쑤성 창저우 shanying paper / 유럽 / 호주(시드니 내)

아마존 우림 -> 에두아르두 고메스 공항 - 트럭(246km)

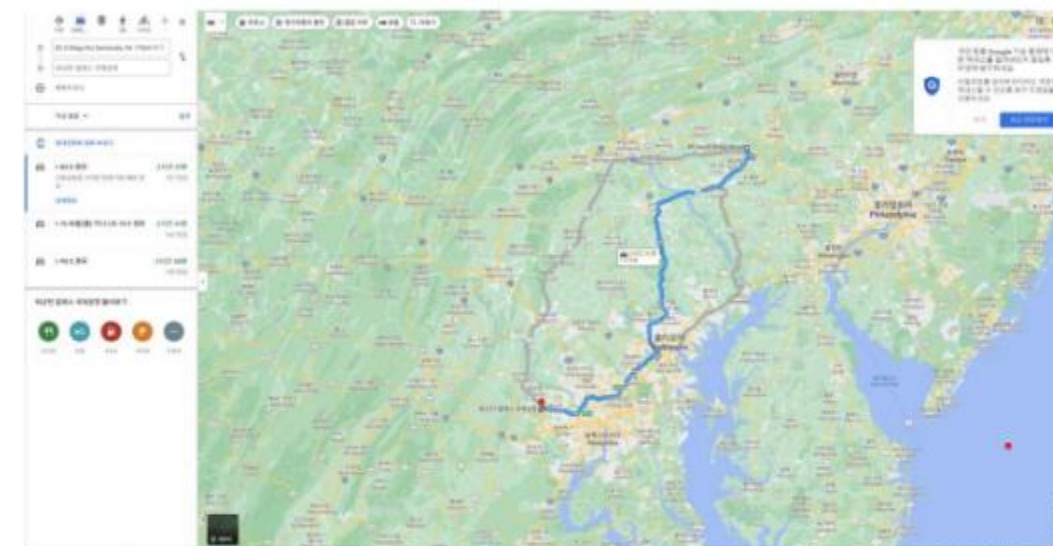


에두아르두 고메스 공항에서 워싱턴 공항까지의 거리(3079mile)

3079 Miles	4955 Kilometers	2676 Nautical miles
6 h 19 min Flight duration	0 h Time difference	CO ₂ 344 kg CO ₂ emissions

미국 펜실베이니아 목재 -> 펄프 공장

공장부터 공항까지



워싱턴 공항에서 Incheon airport까지의 거리 -> 11167km

$$11167\text{km} \times 0.006 = 67.002$$

$$\text{육상 운송 총합: } 130 + 157 \text{ mile} = 287\text{mile} \rightarrow 462.07\text{km (미국 내)} \rightarrow 462.07 + 408 + 337\text{km} = 1207.07\text{km} (1207.07 \times 0.006 = 7.242 \text{ kgkm})$$

유럽 공급망 시나리오

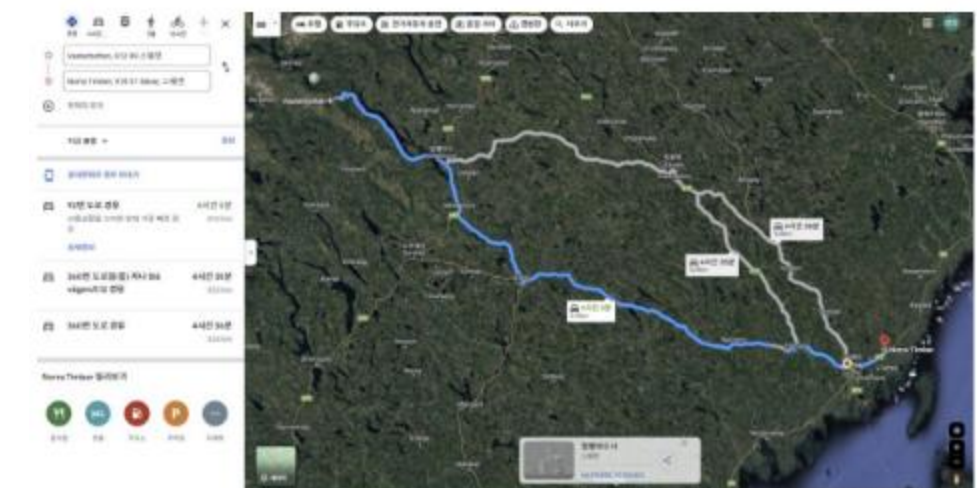
유럽은 제지공장과 펄프공장 모두 스웨덴으로 설정 - 국토의 약 70%가 산림, 펄프 및 제지 산업이 크게 발달, 주요 펄프 생산국 중 하나

제지공장: 스웨덴 북부 Västerbotten 카운티의 Vännäs 시의 Norra Timber Västerbotten 제재소

제지조달: Västerbotten 지역의 주변 숲에서 목재를 조달

펄프공장: Västernorrland 카운티의 Timrå Municipality에 위치한 Östrand SCA 펄프 공장

Västerbotten → Norra Timber Västerbotten 제재소 - 트럭 (310km)



지구방위대 팀 성과발표

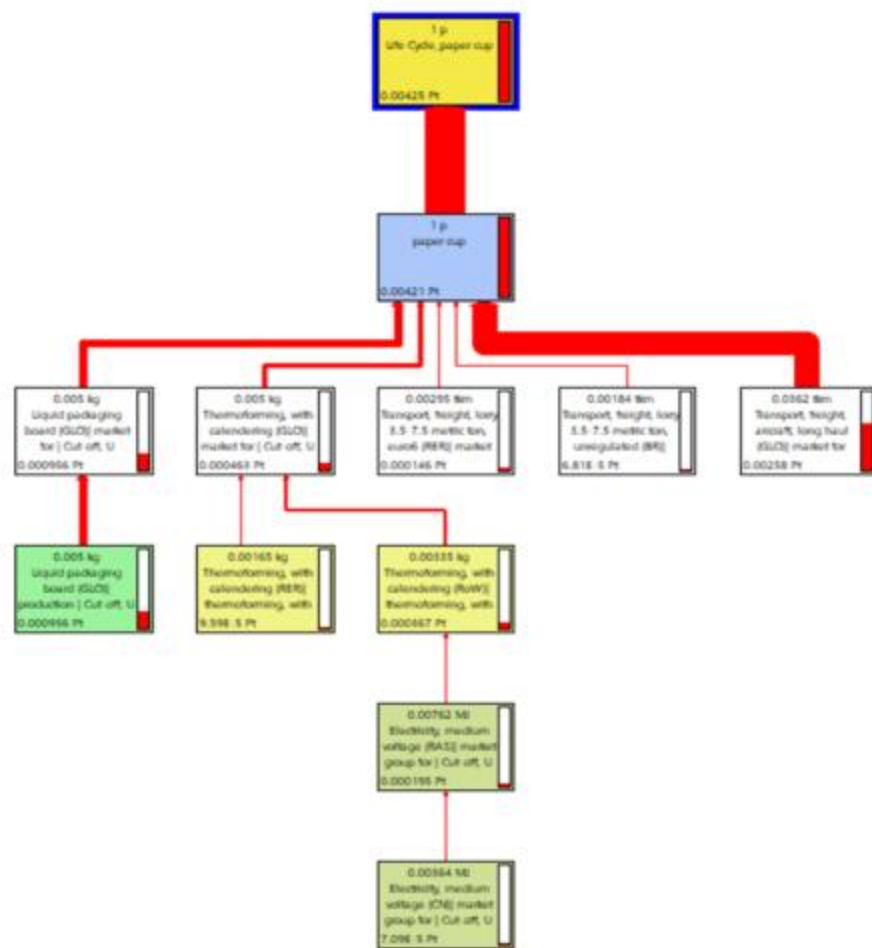
2. 일회용품 LCA 소프트웨어 구동 결과 - Database 탐색하기

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
방향	그룹	환경	명칭	명칭규칙	명칭규격	단위	호/명	설명	값
INPUT	Raw material	Technosphere	1-amino-2-propanol			kg			5.56E-17
INPUT	Others	Technosphere	2-2-azobis isobutyronitrile			kg			3.29E-07
INPUT	Raw material	Technosphere	acetic acid			kg			1.99E-07
INPUT	Raw material	Technosphere	acrylamide			kg			1.41E-10
INPUT	Resource	Air	air			kg			1.09E-01
INPUT	Raw material	Technosphere	aluminium oxide(Al2O3)			kg			1.82E-08
INPUT	Resource	Soil	aluminium(Al)			kg			5.03E-04
INPUT	Raw material	Technosphere	aluminum sulfate(Al2(SO4)3)			kg			2.53E-06
INPUT	Raw material	Technosphere	ammonia(NH3)			kg			8.59E-08
INPUT	Resource	Soil	ammonia(NH3)			kg			1.03E-04
INPUT	Others	Technosphere	ammonium chloride(NH4Cl)			kg			2.06E-06
INPUT	Raw material	Technosphere	ammonium			kg			8.39E-07
INPUT	Others	Technosphere	ancillary			kg			3.79E-02
INPUT	Resource	Soil	asbestos			kg			8.12E-10
INPUT	Raw material	Technosphere	barium chloride(BaCl2)			kg			2.08E-05
INPUT	Resource	Soil	barium(Ba)			kg			1.84E-09
INPUT	Resource	Soil	baryte(BaSO4)			kg			7.61E-04
INPUT	Resource	Soil	basalt			kg			7.60E-06
INPUT	Resource	Soil	bauxite(Al2O3)			kg			2.44E-04
INPUT	Resource	Soil	bentonite			kg			5.42E-05
INPUT	Raw material	Technosphere	benzene			kg			1.47E-08
INPUT	Resource	Soil	borax			kg			6.62E-10
INPUT	Raw material	Technosphere	boric acid			kg			1.13E-09
INPUT	Resource	Soil	brown coal			kg			8.99E-04
INPUT	Resource	Soil	calcium fluoride(CaF2)			kg			2.18E-18
INPUT	Raw material	Technosphere	calcium hydroxide(Ca(OH)2)			kg			1.01E-09
INPUT	Raw material	Technosphere	calcium			kg			8.34E-16

Name	/	Unit	Waste type	Project
Chemi-thermomechanical pulp (GLO) market for Cut-off, S		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Chemi-thermomechanical pulp (GLO) market for Cut-off, U		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Stone groundwood pulp (GLO) market for Cut-off, S		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Stone groundwood pulp (GLO) market for Cut-off, U		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Sulfate pulp, bleached (RER) market for sulfate pulp, bleached Cut-off, S		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Sulfate pulp, bleached (RER) market for sulfate pulp, bleached Cut-off, U		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Sulfate pulp, bleached (RoW) market for sulfate pulp, bleached Cut-off, S		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Sulfate pulp, bleached (RoW) market for sulfate pulp, bleached Cut-off, U		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Sulfate pulp, unbleached (RER) market for sulfate pulp, unbleached Cut-off, S		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Sulfate pulp, unbleached (RER) market for sulfate pulp, unbleached Cut-off, U		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Sulfate pulp, unbleached (RoW) market for sulfate pulp, unbleached Cut-off, S		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Sulfate pulp, unbleached (RoW) market for sulfate pulp, unbleached Cut-off, U		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Sulfite pulp, bleached (GLO) market for Cut-off, S		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Sulfite pulp, bleached (GLO) market for Cut-off, U		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Thermo-mechanical pulp (GLO) market for Cut-off, S		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation
Thermo-mechanical pulp (GLO) market for Cut-off, U		kg	Paper	Ecoinvent 3 - allocation

지구방위대 팀 성과발표

2. 일회용컵 LCA 소프트웨어 구동 결과 - 결과 분석



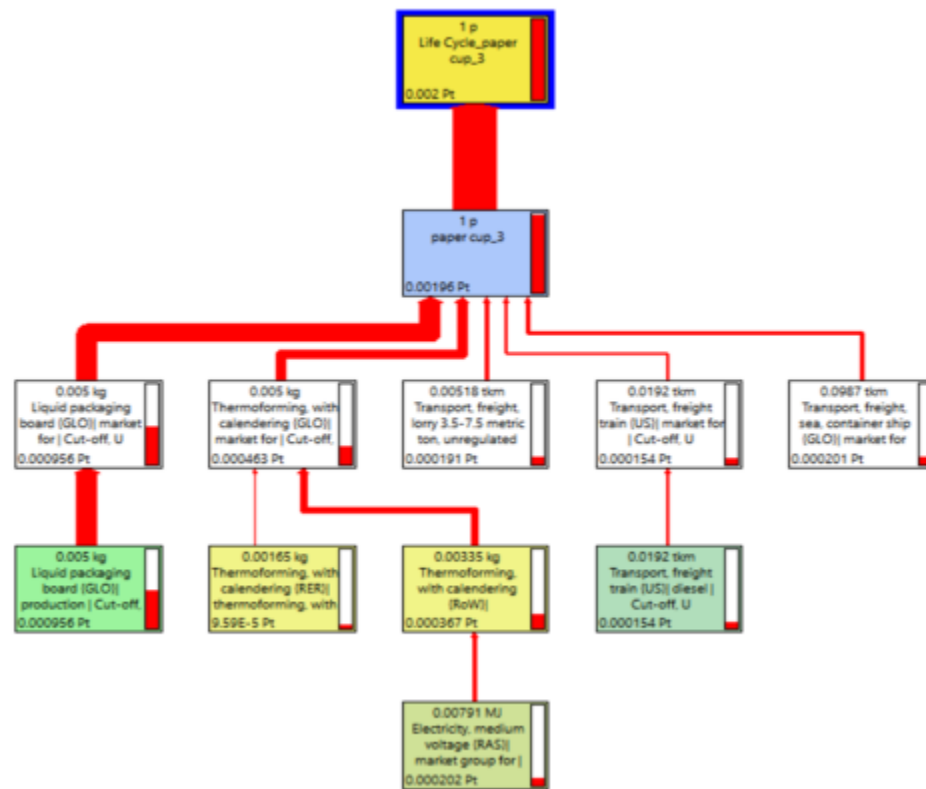
Se	Impact category	Unit	Total	paper cup	Municipal solid waste (waste)
<input checked="" type="checkbox"/>	Carcinogens	DALY	3.9E-9	3.48E-9	4.29E-10
<input checked="" type="checkbox"/>	Resp. organics	DALY	2.22E-11	2.21E-11	8.02E-14
<input checked="" type="checkbox"/>	Resp. inorganics	DALY	2.96E-8	2.94E-8	1.93E-10
<input checked="" type="checkbox"/>	Climate change	DALY	7.91E-9	7.87E-9	3.56E-11
<input checked="" type="checkbox"/>	Radiation	DALY	6.26E-11	6.26E-11	7.8E-14
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer	DALY	5.94E-12	5.92E-12	1.62E-14
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity	PAF*m2yr	0.013	0.0126	0.00038
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0.00105	0.00104	8.57E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Land use	PDF*m2yr	0.00584	0.00584	1.81E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Minerals	MJ surplus	0.000178	0.000176	2.56E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Fossil fuels	MJ surplus	0.067	0.0669	0.000128

빨간색 선의 두께 ↑ = 탄소배출량 ↑

비행기 운송 방식은
환경영향 측면에서
바람직하지 않은 방식!

지구방위대 팀 성과발표

2. 일회용컵 LCA 소프트웨어 구동 결과 - 결과 분석



Se	Impact category	Unit	Total	paper cup_3	Municipal solid waste (waste
<input checked="" type="checkbox"/>	Carcinogens	DALY	3.63E-9	3.2E-9	4.29E-10
<input checked="" type="checkbox"/>	Resp. organics	DALY	1.31E-11	1.3E-11	8.02E-14
<input checked="" type="checkbox"/>	Resp. inorganics	DALY	1.88E-8	1.86E-8	1.93E-10
<input checked="" type="checkbox"/>	Climate change	DALY	2.54E-9	2.51E-9	3.56E-11
<input checked="" type="checkbox"/>	Radiation	DALY	2.85E-11	2.84E-11	7.8E-14
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer	DALY	8.75E-13	8.59E-13	1.62E-14
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity	PAF*m2yr	0.00549	0.00511	0.00038
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0.000444	0.000435	8.57E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Land use	PDF*m2yr	0.00562	0.00562	1.81E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Minerals	MJ surplus	0.00017	0.000167	2.56E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Fossil fuels	MJ surplus	0.0149	0.0148	0.000128

빨간색 선의 두께 ↑ = 탄소배출량 ↑

배를 이용한 운송 방식은
훨씬 적은 탄소 배출량
비교적 좋은 방식!

지구방위대 팀 성과발표

3. LCA 결과를 통한 최적화 모델 도출

```
(트럭)목재원산지-펄프공장 이동거리 : 209.3  
(트럭+기차)목재원산지-펄프공장 이동거리 (트럭), (기차) : 209.3 99999999  
(배)항구-항구 이동거리 : 10048.95  
(비행기)공항-공항 이동거리 : 11171.79  
(트럭)펄프공장-항구 이동거리 : 228.62  
(트럭+기차)펄프공장-항구 이동거리 (트럭), (기차) : 404.11 330  
(트럭)펄프공장-공항 이동거리 : 252.77  
(트럭+기차)펄프공장-공항 이동거리 (트럭), (기차) : 51 330  
(트럭)항구-중이집공장 이동거리 : 55  
(트럭+기차)항구-중이집공장 이동거리 (트럭), (기차) : 12.5 72  
(트럭)공항-중이집공장 이동거리 : 408  
(트럭+기차)공항-중이집공장 이동거리 (트럭), (기차) : 74 395  
(트럭)중이집공장-아주대 이동거리 : 337  
(트럭+기차)중이집공장-아주대 이동거리 (트럭), (기차) : 15.9 349  
가중치 부여(자원발자국, 탄소발자국, 오존층영향, 산성비, 부영양화, 광화학스모그, 물소모계수) : 9 10 1 1 1 1 1  
Optimal z value: 1968.49564093044409673894  
[1, 1, 1, 0, 0, 0, 0]  
[0, 0, 0, 0, 1, 0, 1]
```

미국 최적화 결과

```
(트럭)목재원산지-펄프공장 이동거리 : 15.7  
(트럭+기차)목재원산지-펄프공장 이동거리 (트럭), (기차) : 15.7 9999999999  
(배)항구-항구 이동거리 : 937.11  
(비행기)공항-공항 이동거리 : 866  
(트럭)펄프공장-항구 이동거리 : 219  
(트럭+기차)펄프공장-항구 이동거리 (트럭), (기차) : 65.3 160  
(트럭)펄프공장-공항 이동거리 : 59.6  
(트럭+기차)펄프공장-공항 이동거리 (트럭), (기차) : 59.6 9999999999  
(트럭)항구-중이집공장 이동거리 : 382  
(트럭+기차)항구-중이집공장 이동거리 (트럭), (기차) : 51 395  
(트럭)공항-중이집공장 이동거리 : 402  
(트럭+기차)공항-중이집공장 이동거리 (트럭), (기차) : 74 395  
(트럭)중이집공장-아주대 이동거리 : 337  
(트럭+기차)중이집공장-아주대 이동거리 (트럭), (기차) : 15.9 349  
가중치 부여(자원발자국, 탄소발자국, 오존층영향, 산성비, 부영양화, 광화학스모그, 물소모계수) : 9 10 1 1 1 1 1  
Optimal z value: 691.83861493466383763007  
[1, 1, 0, 0, 0, 0, 0]  
[0, 0, 1, 0, 1, 0, 1]
```

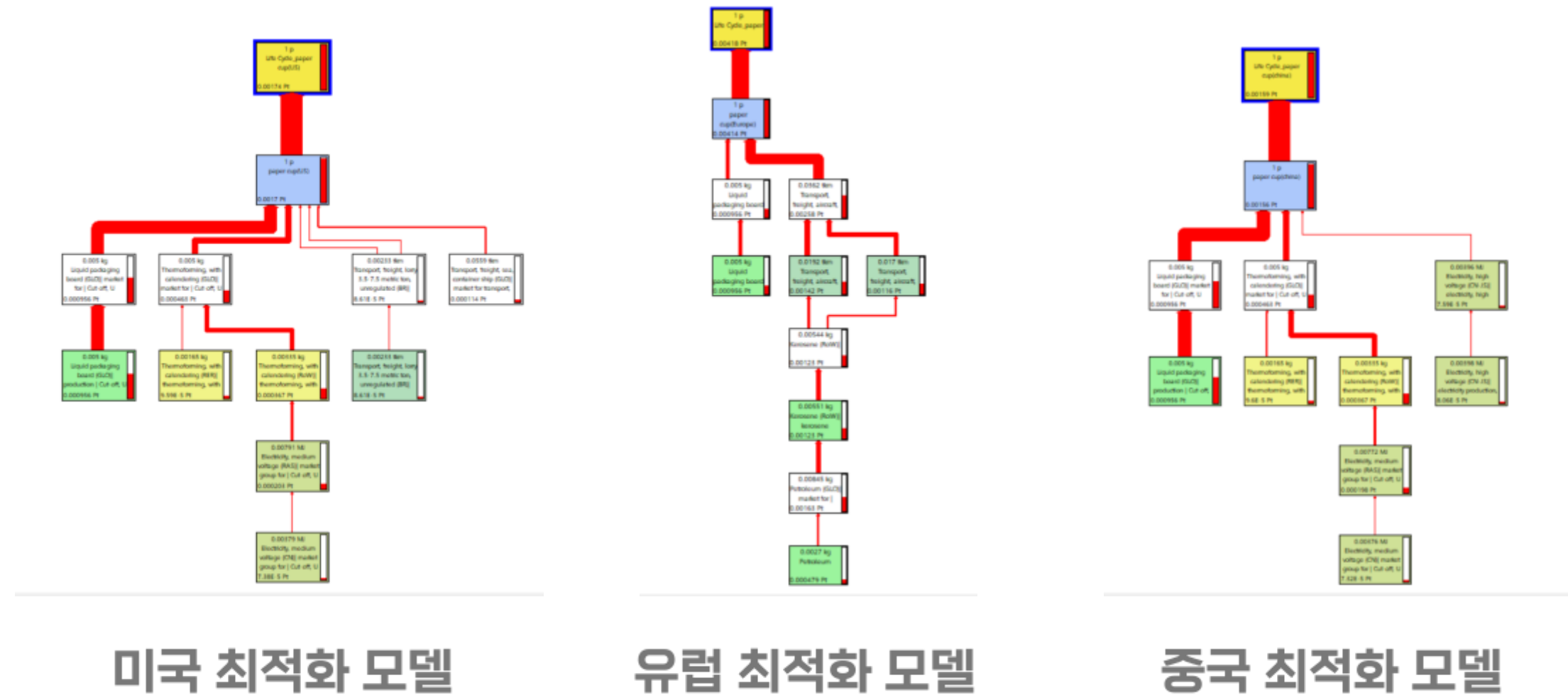
중국 최적화 결과

```
(트럭)목재원산지-펄프공장 이동거리 : 310  
(트럭+기차)목재원산지-펄프공장 이동거리 (트럭), (기차) : 59.4 186  
(배)항구-항구 이동거리 : 25607  
(비행기)공항-공항 이동거리 : 7239  
(트럭)펄프공장-항구 이동거리 : 14.1  
(트럭+기차)펄프공장-항구 이동거리 (트럭), (기차) : 14.1 9999999999  
(트럭)펄프공장-공항 이동거리 : 10.7  
(트럭+기차)펄프공장-공항 이동거리 (트럭), (기차) : 10.7 9999999999  
(트럭)항구-중이집공장 이동거리 : 55  
(트럭+기차)항구-중이집공장 이동거리 (트럭), (기차) : 12.5 72  
(트럭)공항-중이집공장 이동거리 : 408  
(트럭+기차)공항-중이집공장 이동거리 (트럭), (기차) : 71 395  
(트럭)중이집공장-아주대 이동거리 : 337  
(트럭+기차)중이집공장-아주대 이동거리 (트럭), (기차) : 15.9 349  
가중치 부여(자원발자국, 탄소발자국, 오존층영향, 산성비, 부영양화, 광화학스모그, 물소모계수) : 9 10 1 1 1 1 1  
Optimal z value: 1282.32360084808647116006  
[0, 0, 0, 1, 0, 0, 1]  
[1, 1, 0, 0, 0, 1, 0]
```

유럽 최적화 결과

지구방위대 팀 성과발표

3. LCA 결과를 통한 최적화 모델 도출



지구방위대 팀 결과 시사점

- 1 작은 일회용컵 하나에도 수많은 환경영향 분석 필요
- 2 최적화 알고리즘을 통한 공급망 최적화의 필요성 확인
- 3 기업의 일회용컵 제조 과정에서 드는 에너지 감축 대책 방안 강구 필요
- 4 우리 사회에 LCA를 통한 환경영향 평가 지표의 필요성 증대



2023-1 파란학기제 성과발표회

감사합니다!

팀명: 지구방위대