

Pricing carbon is a necessary but not enough condition for the achievement of effective climate change mitigation: Discuss this claim, with examples.

Student name & Student ID: Sooyoung Oh (222110)

Recently, 'carbon pricing' such as 'carbon taxation' and 'cap-and-trade (emission trading)' program as the part of 'market-based instrument' for reducing carbon dioxide emission (Tietenberg, 2013) has resurfaced the alternative mitigation solution for global warming and climate change since 1990 in Finland carbon tax, and 2005 in European Union Emission Trading Scheme (EU ETS) with the implementation of Kyoto Protocol (2005) and Paris Agreement (2016) to reduce the rapid increase of global mean surface temperature (GMST) driven by greenhouse effect especially from anthropogenic reasons since mid-20th century with 95% confidence (IPCC, 2013); In reality, only in Europe, economic decoupling phenomenon had occurred with increased GDP by 50% and decreased GHG emission by 24% based on fallen GHG intensity (EEA, 2016) regarding energy intensity and carbon intensity. However, according to UNEP (2018), although we assume that the current unconditional National Determined Contributions (NDCs) with continuous climate actions will be implemented successfully until 2100, GMST will rise between 2.9°C and 3.4°C with 3.2°C in average (in conditional NDCs, 3.0°C in average) at the end of 21st century compared to pre-industrial level. In this situation, 'market failure' which demonstrates neo-classical economics not to react as expected to pricing signals (Campiglio, 2016) should be improved to achieve mitigated climate change with 'well below 2°C' warming from pre-industrial time until 2100 (Agreement, 2015) with the progression of carbon pricing policy. Therefore, the application of carbon pricing policy for global warming and climate change as an example of the orthodox economic solution should be supplemented with the revision derived by heterodox economics by assuming 'bounded rationality' with human-beings' instincts such as heuristic with preference, bias and aversion in behavior economics & evolutionary economics for eco-innovation with system transformation, 'information asymmetry' creating adverse selection and moral hazard in information economics, and 'externality' regarding public & common goods with positive & negative externalities in environmental economics & ecological economics to explain and resolve 'market failure' in carbon pricing policy. In the assumption of bounded rationality, heterodox economics give some inspiration of human instincts to people who make the revision of carbon pricing policy because human instincts such as heuristic based on preference, bias and aversion should fill up the rationality for being integrated human nature, e.g. not only optimizing, but also satisficing and transforming (Grubb *et al.*, 2014) with various emotional rewards and biological feedbacks regarding social neuropeptides in the brain such as DOES (dopamine, oxytocin, endorphin and serotonin) hormones originated in evolutionary reasons; moreover, the profound consideration of externality & information asymmetry achieves the purpose of carbon pricing policy perfectly by using environmental economics, ecological economics and information economics for polluter pays principle and perfect information. Overall, these trials will give some fulfilled explanations of limitations and solutions for carbon pricing policy clearly. In this essay, firstly, I will try to explain the definition of carbon pricing based on neo-classical economics background and the analyzation of its limitation, 'market failure'. Next, I will try to suggest reasonable solutions to overcome these limitations and find some practical examples of carbon pricing policies in Europe e.g. EU-ETS, Switzerland carbon tax, Sweden carbon tax based on orthodox & heterodox economics such as behavioral economics, evolutionary economics, ecological economics, environmental economics and information economics background. Finally, I will try to reorganize overall designs of carbon pricing policy with some critics of underlying problems to achieve climate change mitigation effectively.

1. The principle of carbon pricing policies and its limitation

1.1. Present: Carbon pricing policy regarding carbon tax and ETS

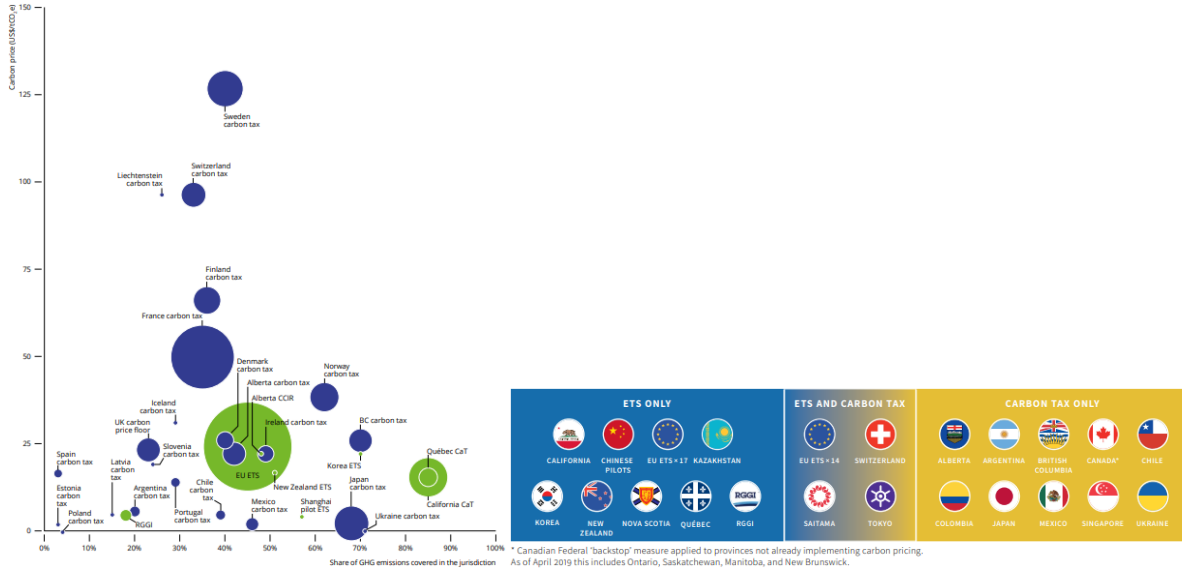
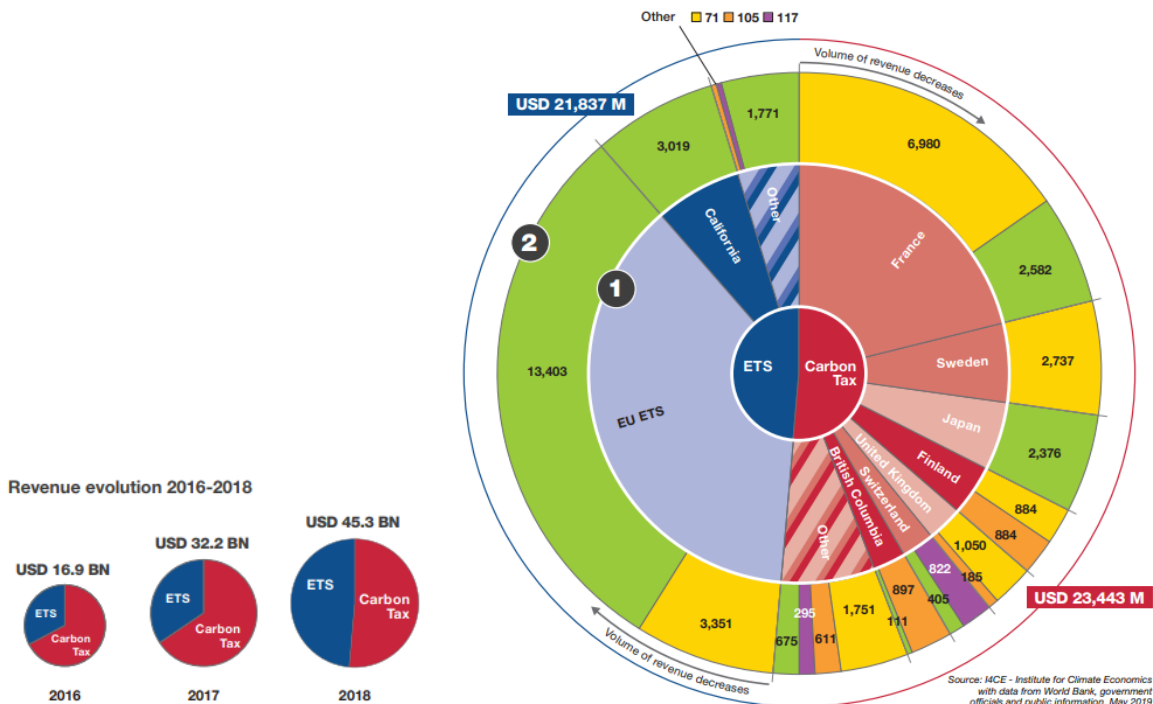


Figure. 1. The implementation of carbon pricing initiatives (Source: World Bank, ICAP, 2019)

Nowadays, carbon pricing initiatives have proceeded in 28 subnational & 46 national jurisdictions which cover 11Gt CO₂ eq. (approx. 20%) with having carbon pricing revenues of approximately 44 billion U.S. dollars in 2018 (World Bank, 2019) that is approximately 0.05% in total world GDP in 2018. Also, in Fig. 1, due to the complementary effect between ETS and carbon tax, 14 EU countries and Switzerland implement both ETS and carbon tax as complementary options.



Source: MCE - Institute for Climate Economics with data from World Bank, government officials and public information, May 2019

Figure. 2. Carbon pricing revenue evolution with state revenue uses (Source: I4CE, cited in World Bank, 2019)

Especially, in Fig. 2, ETS dominates 48% of total carbon pricing revenue in 2018 with relatively rapid percentage increase since 2016, while carbon tax dominates 52% in 2018; also, more than three-fourth of total carbon pricing revenue in 2018 came from EU countries (I4CE, 2019). In principle, carbon pricing such as ETS and carbon tax is derived by neoclassical method, and there are some differences between ETS and carbon tax. In the next section, I will try to introduce the principle of carbon pricing with the differences between ETS and carbon tax.

1.2. Neoclassical method: The main principle for carbon pricing policy



Figure. 3. The main difference between ETS and Carbon tax. (Source: ICAP, 2019)

Basically, according to ICAP (2019), carbon pricing policy is classified into ‘carbon tax’ and ‘emissions trading systems (ETS)’ based on polluter pays principle which contribute to low-carbon development with economic incentives in production, expenditure and investment regarding microeconomic policy based on supply-demand curve with invisible hand in classical economics, i.e. environmental economics in welfare economics; moreover, carbon pricing policy utilizes ‘economic instrument’ based on economic incentive methods which is more cost-effective than ‘command and control’ to reduce carbon dioxide emission with the increase of government’s revenues, e.g. carbon taxes and emission allowances auctions. According to Fig. 3, ICAP (2019) states that the main differences between ETS and carbon tax are ‘Price uncertainty versus Emissions uncertainty’ regarding the demand graph with stable quantity of ‘carbon emissions versus price’, and ‘Flexibility versus Simplicity’ regarding the advantages with ‘complex infrastructure for ETS versus centralized system for carbon tax’, respectively. Carbon pricing policy is the representative environmental policy regarding ‘market-based instruments’ based on neo-classical economics. In carbon pricing policy, the government charges the price of carbon to reduce GHG emission in different ways between carbon tax and ETS. In Fig. 4, carbon tax imposes on the price of carbon in each product that emits GHG in the production process, while ETS imposes on the high price of carbon when GHG emission is exceeded in the emission allowance (emission permit) of ETS with flexible mechanism.

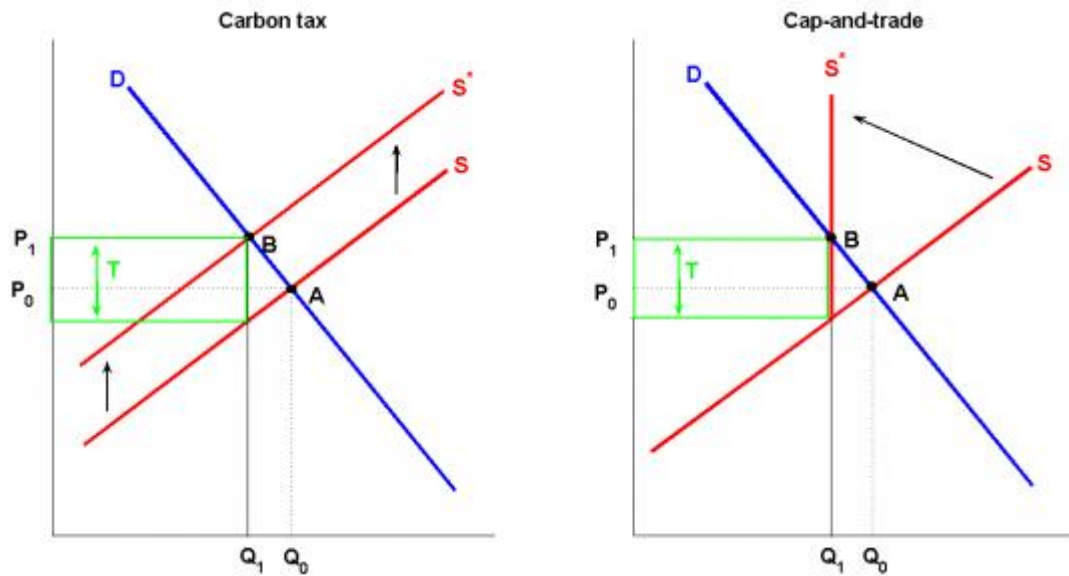


Figure. 4. Supply-demand curve in carbon tax and cap-and-trade (Source: Gordon, 2012)

In fact, carbon pricing should make consumption & production more expensive, and motivate economic actors to transform to low-carbon development from fossil fuel-based system to renewable energy system (Bohlin, 1998). According to Tietenberg (1990), market-based instruments, i.e. carbon pricing is much more cost-effective than command and control in environmental regulation due to low administrative costs & optimal choice to reduce environmental pollution by using market principles. Also, economic instruments have various economic incentives for technical innovation and systemic transformation to reduce GHG emission, while command and control do not have them (Guerin, 2003). Moreover, although market-based instruments have carbon leakage, those instruments such as carbon tax and ETS are much more beneficial than regulatory instruments because there are more other options in market-based instruments to reduce GHG emission than command and control. In fact, in Sweden, carbon tax price is US\$139/tCO₂e, and Swedish economy has grown by 60% with the decreased carbon emission by 25% since the initiation of the Swedish carbon tax in 1991 (World Bank, 2016; 2018). That means carbon pricing is the best cost-effective solution to mitigate GHG emission. (Bohlin, 1998) However, despite the advantages and practical examples of carbon pricing, there are some critical problems based on market failure to proceed and progress carbon pricing policies.

Category	Examples
Command and control	Licenses/permits; Ambient quality standards; Emissions standards; Process standards; Product standards; Prohibition bans.
Economic instruments	Charges; Taxes; Tradable emission permits; Tradable quotas; Environmental subsidies; Deposit-refund systems; Performance bonds; Non-compliance fees; Resource pricing.
Liability, damage compensation	Strict liability rules; Compensation funds; Compulsory pollution insurance; Extended producers responsibility.
Education and information	Education campaign for the general public; Diffusion of technical information; Publicity of sanctions for non-compliance; Eco-labelling.
Voluntary approaches	Unilateral commitments; Public voluntary programmes; Negotiated agreements.
Management and planning	Environmental management systems; Zoning; Land use.

Figure. 5. Various environmental policy instruments (Source: OECD, 2001)

In this sense, even though economic instruments are the most suitable solution to deal with excessive GHG emission, other instruments of environmental policy should be used in appropriate circumstance as the supplement of economic instruments, i.e. carbon pricing due to its market failure with inefficient signals of the reduction of GHG emission driven by the rise of carbon price. In other words, other options such as liability, education and information should revise or reinforce original carbon pricing policy to operate it perfectly in Fig. 5. In the next section, I will try to deal with market failure to understand the meaning of other options of environmental policy instruments clearly.

1.3. Market failure: The main problem of carbon pricing policy

Mainly, the problem of carbon pricing policy as a part of economic policy is caused by market failure despite the original purpose of carbon pricing to overcome tragedy of common caused by indiscriminate consumption of fossil fuel resources with excessive GHG emissions. That means government cannot predict and regulate the result of economic instruments, i.e. carbon pricing by using pricing signal due to ‘information asymmetry’ in climate policy and politics, ‘bounded rationality’ of human nature, difficult consideration of ‘externality’ in time scale (i.e. future generation) and space scale (i.e. ecosystem). In the next sections, I will try to introduce three reasons of market failure specifically.

1.3.1. Information failure: Information economics

In information economics, information asymmetry generates information failure such as ‘adverse selection’ with ‘the market for lemons’ before contract and ‘moral hazard’ with ‘agency dilemma’ after contract. In adverse selection of carbon pricing, the market for lemons takes place with

emission uncertainty in carbon tax & price uncertainty in ETS because there is no perfect information between the government and companies regarding unstable climate politics & policy and specific corporate circumstance to each other. In this context, it is hard to predict the ratio of R&D investment in each company for technological transformation of low-carbon development driven by carbon pricing as well. To solve these problems, signaling (Spence, 1973) & screening (Stiglitz, 1975) among actors are necessarily needed in carbon pricing policy. Moreover, in moral hazard, principal-agent problem makes carbon leakage out of central management in carbon pricing. Although there is no consensus between empirical & theoretical estimates of carbon leakage, high costs of carbon pricing create severe carbon leakage in carbon-intensive industry, e.g. cement & steel sectors (Vivid Economics and Ecofys, 2014). In fact, according to Boston Consulting Group (2008), by 2020, EU cement production should be reduced by 80% with higher than 25 €/tCO₂ of carbon pricing and by 100% with higher than 35 €/tCO₂ of carbon pricing without free allocation in Phase III of EU ETS. Also, speculation and hoarding with lobbying regarding carbon market in line with the critics of neo-liberalism, i.e. subprime mortgage crisis can be occurred especially in ETS based on moral hazard (Böhm, 2009). Therefore, the monitoring for penalty & incentive in each actor's behavior with the reflection & revision of original contract will be the best solution of moral hazard (Holmstrom, 1979). Information failure is mainly considered in ETS, not carbon tax due to its simple structure with top-down decision making except carbon leakage in carbon pricing.

1.3.2. Bounded rationality: Behavioral economics & Evolutionary economics

In behavioral economics & evolutionary economics, bounded rationality caused by human instincts regarding preference, aversion and bias with heuristics (e.g. Time-preference, Loss aversion, Risk aversion, Inequity aversion, Status Quo bias with Prospect theory) creates economic uncertainty (Kahneman, 2003) of carbon market with market failure as well. In behavioral economics aspect, polluter pays policies should confront tax noncompliance such as tax avoidance, i.e. carbon leakage as moral hazard in carbon pricing or tax resistance such as ongoing yellow jackets movement against excessive carbon tax in France since 2018 without the emphasis on the importance of carbon pricing policies based on the consideration of cultural, political and economic differences in the society (Klenert *et al.*, 2018). In this situation, nudge theory (Thaler and Sunstein, 2008), e.g. prospect theory (Kahneman and Tversky, 1979), framing effect and mental accounting (Thaler, 1985) will be the best strategy to emphasize the necessity of carbon pricing policy to citizen naturally (Grubb *et al.*, 2014). Moreover, in evolutionary economics, carbon pricing is not enough to change carbon-intensive infrastructure (Acemoglu *et al.*, 2009); therefore, carbon pricing will not make sustainable low-carbon development successful due to 'system failure' with 'path dependency' with 'lock-in' of the techno-institutional complex (Edquist, 2001). In this perspective, co-evolutionary analysis should be substantially needed to understand multi-level dynamic interaction between institutions, technologies and organizational strategies for transformation and innovation of complex infrastructure with strategic investment (de Laurentis and Cooke, 2008; Foxon, 2008). Although there is no exact solution to predict what the most successful way is for prohibiting path-dependency with carbon lock-in (Nelson and Winter, 2002), to overcome the limitation of system failure, the government should largely invest the innovation and infrastructure of various low-carbon technologies in niche accumulation & hybridization to reduce 'energy intensity of GDP' and 'carbon intensity of energy' by giving incentives to consumers and companies for eco-innovation (Grubb *et al.*, 2014).

1.3.3. Externality: Environmental economics & Ecological economics

In environmental economics based on welfare economics, the environment has the tragedy of the commons (Hardin, 1968) due to environmental destruction, and the externality of environmental pollution, i.e. greenhouse gas can be internalized by market-based instruments such as Pigouvian tax (Pigou, 1920), i.e. carbon tax with negative externality, also known as external diseconomy or external cost in common good and Coase theorem (Coase, 1937), i.e. ETS with positive externality, also known as external economy or external benefit in public good to approach pareto efficiency also called pareto optimality regarding cost-benefit analysis (CBA). Furthermore, in ecological economics, strong sustainability based on the co-evolution between human society and ecosystem can be designed by the sustainability of socio-economic system (e.g. intergenerational equity and economic equality) and the sustainability of ecosystem (e.g. biodiversity and resilience of ecosystem) regarding social quality indicators and eco-physical indicators with thermodynamics. Therefore, in this context, natural capital depletion (NCD) taxes, ecological tariffs (ETs) should be considered in carbon tax price and ETS emissions cap with the precautionary polluter pays principle (4P) (Costanza et al., 1997) to internalize additional externalities in space scale (i.e. ecosystem) and time scale (i.e. future generation) regarding discount rate (Tinbergen, 1952) with economic growth by using environmental economics and ecological economics. Although carbon pricing policies use environmental economics to internalize externalities, the price of carbon should consider expended externalities of strong sustainability based on ecological economics to set the specific plan on exact carbon price in carbon tax and emission allowance in ETS for sustainability.

2. The practical solutions for carbon pricing policy in EU

In the Section 1, market failure is the main reason of unsuccessful carbon pricing policy. Therefore, the improvement of perfect information, nudge theory and eco-innovation regarding information economics, behavioral economics and evolutionary economics should be seriously considered respectively. In fact, perfect information can be achieved by signaling & screening in adverse selection; also, monitoring for penalty and incentive to each economic actor with empirical revisions of the contract in the ETS transaction should be the best solution for moral hazard. Moreover, satisfaction and transformation of carbon pricing policy is also necessarily required with nudge theory and eco-innovation to overcome three carbon lock-ins. In the next section, I will try to explain the solution for three types of carbon lock-in.

2.1. Signaling & screening: Adverse selection

In adverse selection, the actors who have information should express their own information to others (signaling), and the actors who want to get information should filter meaningful information from others (screening) to achieve perfect information without the market for lemons which leads carbon pricing to less efficiency. In practice, the EU has reformed EU ETS for phase 4 (2021-2030) to reduce GHG emission at least 40% below in 2030 compared to GHG level in 1990 (ICAP, 2019);

European commission, 2016) by sharing various reports and news as open sources related to the future for EU ETS in advance. Also, EU ETS has strong MRV (measuring, reporting and verification) framework for stable long-term investment with prepared policies such as ‘commission regulation on monitoring and reporting of GHG emissions’ (2012) and ‘commission implementing regulation on verification and accreditation’ (2018) written by EU parliament and council; moreover, EU ETS has used ‘reviewed markets in financial instruments directive and regulation’ (ESMA, 2019) since 2018 and ‘reviewed market abuse regulation’ (European Parliament and Council, 2014). In this context, adverse selection with the market for lemons could be minimized by EU ETS policies based on signaling and screening among the government and companies in detailed legislations regarding EU ETS transactions.

2.2. Monitoring for penalty & incentive with revised contract: Moral hazard

In moral hazard with principal-agent problem, monitoring for penalty & incentive with revised contract are important to overcome agency dilemma. In fact, centralized regulator (i.e. the government) or distributed regulator (e.g. companies) might be the principal to solve this problem with stated regulations. For example, the EU as a centralized regulator can proceed MRV framework (monitoring) and manage emission allowances called emission permits regarding sanctions and fines for polluters approximately USD 118/tCO₂ (= €100/tCO₂) in excessive emission and non-compliance in EU ETS for phase 2 & phase 3 (2008-2020) (ICAP, 2019) (penalty) (Ott, 1998) with flexible mechanism (ET, JI, CDM) and free emission allocation (incentive). Also, companies can participate in inspection and accusation of other companies’ illegal behaviors as distributed regulator. Moreover, EU ETS has planned from phase 1 (2005-2007) to phase 4 (2021-2030) with cumulated trials and errors (revision). In fact, EU ETS operates policies regarding MRV regulations and revised market rules such as Market Abuse Directive (MAD) and Markets in Financial Instruments Directive (MiFID) (Delbeke and Vis, 2015) with other related legislations for market abuse e.g. market manipulation, anti-money laundering and market speculation to achieve market transparency and market fairness. Moreover, carbon leakage which is the representative example of moral hazard in carbon pricing can be occurred in certain energy-intensive industries & export-oriented industries, and it can be solved by exemptions (i.e. free allowance), output based rebating (OBR) (i.e. financial compensation) for incentive and border carbon adjustment (BCA) and non-compliance fines for penalty to firms (Fischer, 2016; Vivid Economics and Ecofys, 2014). Therefore, theoretically, there is no moral hazard with monitoring for penalty & incentive in each actor by using some legislations, e.g. MRV, MAD, MiFID, OBR and BCA made by EU parliament and council.

2.3. Nudge theory: Bounded rationality

In bounded rationality, polluter pays policies should confront tax noncompliance such as tax avoidance, i.e. carbon leakage as moral hazard in EU ETS and carbon tax or tax resistance such as ongoing yellow jackets movement against excessive carbon tax in France since 2018 without the emphasis of carbon pricing policy. In this state, the government should recognize that Nudge theory, e.g. Prospect theory, Frame effect and Mental accounting is considerably useful for changing their

stereotyped cultural, political and economic beliefs with the satisfaction based on heuristic with preference, aversion and bias to overcome these phenomena. Firstly, in prospect theory, increasing oil price tax regarding carbon tax in Paris in 2018 stimulates ‘status quo bias’, ‘diminishing sensitivity’ and ‘loss aversion’ which are exacting for economically poor people. Therefore, tax reform is necessary to raise carbon tax by reducing other indirect tax burdens with policy support plans, i.e. rising minimum wage for the poor or refund of carbon pricing. For example, in Switzerland, some incentives of carbon tax have changed since 2008 for citizens with having the redistribution, exemption and refund of carbon levy. Especially, two third of carbon tax revenue in Switzerland has been redistributed to citizen equally for tax equity and tax neutrality. Also, the redistribution, exemption and refund of carbon tax in Switzerland have the purpose to prevent carbon leakage especially in carbon-intensive & export-oriented industry. Additionally, EU ETS can provide free allowance of GHG based on flexible mechanism to prevent carbon leakage. Second, in framing effect, choice architecture which is mainly utilized in flexible mechanism (e.g. ET, JI, CDM), not like carbon tax, is substantial with having incentives as positive framing for companies who develop low-carbon technology, i.e. energy efficient & effective system or low-carbon electricity such as CCS, nuclear and renewable energy to make profits for themselves. Therefore, actors who pay a lot of carbon price cannot be aware of their status by understanding incentives in flexible mechanism as positive framing. In this sense, they don’t need to act tax resistance. Moreover, in ETS, the government can use free emission allowance, e.g. grandparenting (GP) and benchmark (BM) flexibly to avoid tax noncompliance of companies regarding the choice architecture. Therefore, flexible mechanism & free emission allowance in ETS and tax redistribution in carbon tax will be the best incentives for carbon pricing. Finally, in mental accounting regarding transaction utility (Thaler, 1999), the meaning of carbon pricing will have different accounting values in different situations mentally. For example, if the government use the revenue of carbon pricing as revenue recycling for positive rationales, e.g. financial assistance to disadvantaged groups, fund climate action and contribution to public budget (ICAP, 2016), citizens will feel less burdened to polluter pays principle of carbon pricing without tax noncompliance and tax resistance based on loss aversion with raising acceptability and satisfaction (Grubb *et al.*, 2014). In fact, the auctioning revenue between 2013 and 2017 had mainly used in renewable energy (37%) and energy efficiency (36%) (ICAP, 2019). Moreover, Switzerland has had carbon labelling system with carbon emission label called ‘approved by climatop’ which represents carbon levy, carbon fee or carbon dividend to promote and settle carbon pricing policy with the protection of solution aversion since 2008. These examples demonstrate the necessity of nudge theory in real situation.

2.4. Eco-innovation: Path dependency with carbon lock-in

In path dependency with three kinds of lock-in on fossil fuel-based system with system failure, various actors in infrastructural & technological lock-in, institutional lock-in and behavioral lock-in should cooperate with each other to resolve the hardening collective inertia of path-dependence in fossil fuel-based system as the initial condition (Hannan and Freeman, 1989) with system transformation based on co-evolutionary analysis in multi-level dynamics (Seto *et al.*, 2016). Firstly, in infrastructure & technological lock-in, eco-innovation with technological and infrastructural transformation of low-carbon development in R&D research based on niche accumulation such as solar cells technology and hybridization such as biofuels and hybrid vehicles should be utilized to transform lock-in to new path (Grubb *et al.*, 2014; Seto *et al.*, 2016). Fundamentally, eco-economic decoupling should be generated by the technological and infrastructural investments to raise carbon intensity and energy intensity. In

this case, the government should develop the infrastructure for R&D research in each firm with encouragement for decoupling between GDP and GHG emission to induce economic actors to invest low-carbon technology in economic instruments. Especially, because niche technology has high implementation cost (Cantono and Silverberg, 2009) with high uncertainty, public support (Stern, 2006) and regulation is requisite to protect eco-innovation (Cecere *et al.*, 2014). For example, in the EU, European Regional Development Fund (ERDF) and Cohesion Fund (CF) which are approximately 40 billion euros have been used approximately 50% in low-carbon development, e.g. renewable energy system, low-carbon urban strategy with high efficiency and smart grids from 2013 to 2020. Also, Innovation Fund (IF) launched in 2020 as the replacement of NER 300 for phase 4 with Modernization Fund (MF) as support mechanisms (European commission, 2016) having approximately over 10 billion euros will be used for low-carbon technology such as renewable energy (e.g. wind, solar, ocean, geothermal energy), efficient energy system, sustainable transports, carbon capture storage and safe nuclear energy with supporting the vision for carbon neutral Europe by 2050. Furthermore, while new governance and decision-making regarding energy-related consumption and production, i.e. carbon pricing should be substantial to optimize institutional lock-in regarding neo-classical economics on new path, demand norms and habits for energy-related services and products should be changed to satisfy behavioral lock-in regarding behavioral economics with new path (Grubb *et al.*, 2014; Seto *et al.*, 2016). In practice, EU ETS auction revenues had used approximately 80% in climate and energy areas from 2013 to 2017 (European Commission, 2018) to transform and innovate infrastructural and technical lock-in with helping carbon pricing policy perfectly. Therefore, eco-innovation with mass investment is necessarily needed to achieve well organized technological infrastructure for carbon pricing policy.

3. Overall strategies of carbon pricing with some critics

3.1. The strategy: Perfect information, nudge theory and eco-innovation

In perfect information, legislations of regulations for screening and monitoring before and after the transaction are necessary with revised regulations reflecting climate change and corporate situation; also, assigned responsibility and concentrated incentive is the best strategy for carbon pricing. In nudge theory, the government takes advantage of carbon tax reform with the increase of carbon tax and its refund, ETS with flexible mechanism (ET, JI, CDM) and free emission allowance, and carbon pricing with environmental improvement, low-carbon technology development, economic equality, tax redistribution and carbon emission label for reducing tax noncompliance and tax resistance. In eco-innovation, the government should give risk protection and mass investment based on protective regulations for niche & hybrid low-carbon technology infrastructure.

3.2. The criticism: Strong sustainability

In ecological economics, strong sustainability is the most important concept to make the society sustainable. In this assumption, carbon pricing policy should follow precautionary polluter pays principle to achieve co-evolutionary sustainability between socioeconomics and ecosystem for a long

time. However, carbon pricing policy can be essentially criticized by ‘the complexity’ of carbon pricing calculation in time-space scale and ‘the incommensurability’ among welfare values and ethical values, i.e. creatures. In other words, in ecological economic aspect, the value of carbon price cannot be exactly calculated. However, in fact, IPCC (2013) will try to make CMIP6 simulation until 2022 in AR6 which considers the meaning of sustainability based on Integrated Assessment Models (IAMs) which substitute energy system, GHG emissions and land use into RCP scenarios in AR5 based on General Circulation Models (GCMs) and Earth System Models (ESMs) by quantifying population, urbanization, education and GDP information based on Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) as parameters of IAMs. In this basis, IPCC (2013) will try to find environmental tipping point which is related to the stable domain for the sustainability of social-ecological system effectively (Martin, 2005) based on RCPs and SSPs with natural feedbacks (e.g. climate feedback and carbon feedback) in AR6. In fact, Stern and Stiglitz (2017) estimated that carbon abatement cost in the whole world should be US\$40–80/tCO_{2e} by 2020, and US\$50–100/tCO_{2e} by 2030 with Fig. 6. to achieve the goals of the Paris Agreement based on IAMs. However, in 2020, European emission allowance price is only US\$27/tCO_{2e}. Also, there is no carbon pricing in approximately 85% of total GHG emissions globally, and approximately 75% of priced GHG emissions is priced lower than US\$10/tCO_{2e} (World Bank, Ecofys, and Vivid Economics 2016; Partnership for Market Readiness, 2017). Therefore, the convergence between ecological economics and neo-classical economics is clearly significant to achieve strong sustainability in carbon pricing policy based on IAMs efficiently and effectively.

	2020	2030	2040	2050
Marginal cost (USD/tCO _{2e})	30-50	80-100	110-130	130-160

Figure. 6. Global Carbon Abatement Costs between 2020 and 2050 (Source: IEA, 2012)

3.3. The criticism: Economic inefficiency

In taxation policy with neo-classical economic aspect, economic inefficiency is presented in deadweight loss and crowding out effect. However, practical inefficiency of economy is defined whether the government use the tax efficiently and effectively or not. In this context, there are some examples that use the carbon pricing in a positive direction. In Switzerland which has the lowest carbon pricing gap and the highest eco-economic decoupling of PPP (OECD, 2018), two third of carbon tax is refunded in each citizen. Also, the revenue of emission allowance auction in EU ETS from 2013 to 2017 was mainly used in climate & energy field. Therefore, the revenue should be used in good efficiency, effectiveness and purpose to achieve successful carbon pricing policy without market failure.

4. Conclusion

In conclusion, carbon pricing is substantial, but not enough to achieve the mitigation of climate change due to market failure of carbon pricing policy which can be supplemented by information economics, behavioral economics, evolutionary economics, environmental economics and ecological economics. In this essay, perfect information, nudge theory and eco-innovation was utilized to solve market failure of carbon pricing policy. Therefore, carbon pricing based on economical & positive aims with active promotions should be managed and revised by the government with carrot and stick strategies by supporting protective regulations with mass investments in eco-innovation for future convergence with ecological economics on IAMs of CMIP6 in AR6. As a result, the problem-solving of market failure in carbon pricing policy need to approach three different dimensions mainly by using behavior economics, information economics and evolutionary economics with the consideration of externality in environmental economics and ecological economics based on neo-classical economics.

Reference

Agreement, P. (2015). Paris agreement. *Report of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, 4, pp. 1-2017.

Acemoglu, D. and Dell, M. (2009). 'Beyond neoclassical growth: Technology, human capital, institutions and within-country differences', *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2, pp. 169-188.

Bohlin, F. (1998). 'The Swedish carbon dioxide tax: effects on biofuel use and carbon dioxide emissions', *Biomass and bioenergy*, 15(4-5), pp. 283-291.

Böhm, S. (2009). *Upsetting the offset: the political economy of carbon markets*. London: MayFlyBooks, 2009.

Boston Consulting Group. (2008). Assessment of the impact of the 2013–2020 ETS proposal on the European cement industry. *Methodology and assumptions*.

Campiglio, E. (2016). Beyond carbon pricing: The role of banking and monetary policy in financing the transition to a low-carbon economy. *Ecological Economics*, 121, pp. 220-230.

Cantono, S. and Silverberg, G. (2009). A percolation model of eco-innovation diffusion: the relationship between diffusion, learning economies and subsidies. *Technological forecasting and social change*, 76(4), pp. 487-496.

Cecere, G., Corrocher, N., Gossart, C. and Ozman, M. (2014). Lock-in and path dependence: an evolutionary approach to eco-innovations. *Journal of Evolutionary Economics*, 24(5), pp. 1037-1065.

Coase, R. H. (1937). The nature of the firm. *Economica*, 4(16), pp. 386-405.

Costanza, R., Cumberland, J. H., Daly, H., Goodland, R. and Norgaard, R. B. (1997). *An Introduction to Ecological Economics*.

De Laurentis, C. and Cooke, P., (2008) *Territorial and Firm Knowledge Dynamics: Innovation Biographies in the Application of Biotechnology in the Food and Energy Sectors in Wales*, Eurodite: Regional Trajectories to the Knowledge Economy.

Delbeke, J. and Vis, P. (Eds.). (2015). *EU climate policy explained*. Routledge.

Edquist, C. (2001). *The Systems of Innovation Approach and Innovation Policy: An Account of the State of the Art*.

European Commission (2016). *The EU Emissions Trading System (EU ETS)* European Commission.

European Commission (2018). *Report from the Commission to the European Parliament and the Council EU and the Paris Climate Agreement: Taking stock of progress at Katowice COP*.

European Environment Agency (2016). *Analysis of key trends and drivers in greenhouse gas emissions in the EU between 1990 and 2014*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

European Parliament and of the Council (2012). *Commission Regulation (EU) on the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions*.

- European Parliament and of the Council (2018). Commission Implementing Regulation on the verification of data and on the accreditation of verifiers pursuant to Directive.
- European Parliament and of the Council and Commission Directives (2014). Regulation (EU) of the European Parliament and of the Council on market abuse (market abuse regulation) and repealing Directive.
- European Securities and Markets Authority (ESMA) (2019) Report on sanctions and measures imposed under MiFID II in 2018 ESMA report in 2019.
- Fischer, C. (2016). '21 Options for avoiding carbon leakage'. *Towards a Workable and Effective Climate Regime*, 297.
- Foxon, T. (2008) 'A co-evolutionary framework for analysing transition pathways to a low carbon economy', *European Association for Evolutionary Political Economy*, pp. 6-8.
- Gordon, S. (2012). Econ 101: What you need to know about carbon taxes and cap-and-trade.
- Grubb, M., Hourcade, J. C., & Neuhoff, K. (2014). *Planetary Economics: Energy, Climate Change and the Three Domains of Sustainable Development*. Abingdon: Routledge.
- Guerin, K. (2003). *Property Rights and Environmental Policy: A New Zealand Perspective*. Wellington: NZ Treasury.
- Hannan, M. T. and Freeman, J. (1989). *Organizational ecology*. Harvard university press.
- Hardin, G. (1968). 'The tragedy of the commons', *Science*, 162(3859), pp. 1243-1248.
- Holmstrom, B. (1979). 'Moral hazard and observability', *Bell journal of Economics*, 10(1), pp. 74-91.
- I4CE (2019). Global Carbon Account 2019.
- ICAP (2016). International Carbon Action Partnership ETS BRIEF #5.
- ICAP (2019). Emission Trading Worldwide Status Report 2019.
- ICAP (2019). [Online]. *ETS brief #8*. Berlin: International Carbon Action Partnership. [Accessed 03 December 2019]. Available from:
https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_attach&task=download&id=638
- IEA (2012). 'Energy Technology Perspectives 2012 (ETP 2012)'.
- IPCC (2013). [Online]. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P. M. (eds.)]. New York: Cambridge University Press. [Accessed 07 November 2019] Available from: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2017/09/WG1AR5_Frontmatter_FINAL.pdf
- Kahneman, D. (2003). 'Maps of bounded rationality: Psychology for behavioral economics'. *American economic review*, 93(5), pp. 1449-1475.
- Kahneman, D. and Tversky, A. (1979). 'Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk', *Econometrica*, 47(2), p. 263.
- Klenert, D., Mattauch, L., Combet, E., Edenhofer, O., Hepburn, C., Rafaty, R., and Stern, N. (2018). 'Making carbon pricing work for citizens', *Nature Climate Change*, 8(8), pp. 669-677.

- Marten, G. G. (2005). Environmental Tipping Points: A New Paradigm for Restoring Ecological Security, *Journal of Policy Studies*, 20, pp. 75-87.
- Métivier, C. and Postic, S. (2018). *Carbon Pricing Across the World: How to Efficiently Spend Growing Revenues*. Paris: I4CE.
- Nelson, R. R. and Winter, S. G. (2002). Evolutionary theorizing in economics. *Journal of economic perspectives*, 16(2), pp. 23-46.
- OECD (2001), *Sustainable Development: Critical Issues*. Paris: OECD Publishing.
- OECD (2018), *Effective Carbon Rates 2018*
- Ott, H. E. (1998). "Emissions Trading in the Kyoto Protocol, Finished and Unfinished Business", *Linkages Journal*, 4(3).
- Partnership for Market Readiness. (2017). "Carbon Tax Guide: A Handbook for Policy Makers." Washington: World Bank.
- Pigou, A. C. (1920). *The Economics of Welfare*. London: Macmillan.
- Seto, K. C., Davis, S. J., Mitchell, R. B., Stokes, E. C., Unruh, G. and Ürge-Vorsatz, D. (2016). 'Carbon lock-in: types, causes, and policy implications'. *Annual Review of Environment and Resources*, 41, pp. 425-452.
- Spence, M. A. (1973). 'Job Market Signaling', *Quarterly Journal of Economics*, 83(3), pp. 355-377.
- Stern, N. (2006), 'Stern Review: The Economics of Climate Change', *Report for HMT*
- Stern, N. and Stiglitz, J. E. (2017). Report of the high-level commission on carbon prices.
- Stiglitz, J. E. (1975). "The Theory of 'Screening', Education, and the Distribution of Income", *American Economic Review*, 65(3), pp. 284–300.
- Thaler, R. H. (1985). 'Mental Accounting and Consumer Choice', *Marketing Science*. 4(3), pp. 199–214.
- Thaler, R. H. (1999) Mental Accounting Matters. *Journal of Behavioral Decision Making*, 12, pp. 183-206.
- Thaler, R. H. and Sunstein, C. R. (2008). *Nudge: improving decisions about health, wealth, and happiness*. New York: Free Press.
- Tietenberg, T. H. (1990). 'Economic instruments for environmental regulation', *Oxford Review of Economic Policy*, 6(1), pp. 17-33.
- Tietenberg, T. H. (2013). 'Reflections—carbon pricing in practice', *Review of Environmental Economics and Policy*, 7(2), pp. 313-329.
- Tinbergen, J. (1952). *On the Theory of Economic Policy*. Amsterdam: North Holland Publishing Co
- Tversky, A. and Kahneman, D. (1981). 'The Framing of decisions and the psychology of choice', *Science*, 211(4481), pp. 453-458.
- UNEP (2018). UN Environment's Annual Report 2018.

Vivid Economics and Ecofys (2014). *Carbon leakage prospects under Phase III of the EU ETS and beyond*. Report prepared for DECC.

World Bank (2016). When It Comes to Emissions, Sweden Has Its Cake and Eats It Too.

World Bank (2018) *Carbon Pricing Leadership Coalition*. States and Trends of Carbon Pricing

World Bank (2019). [Online]. *State and Trends of Carbon Pricing 2019*. Washington: 2019 International Bank for Reconstruction and Development. [Accessed 03 December 2019]. Available from: <http://documents.worldbank.org/curated/en/191801559846379845/pdf/State-and-Trends-of-Carbon-Pricing-2019.pdf>

World Bank, Ecofys, and Vivid Economics (2016). “State and Trends of Carbon Pricing 2016.” Washington: World Bank.



게임이론을 통해서 본 기후변화에서의 국제 정치와 국제 기후 협약



영수(榮秀) · 발행 2021년 1월 10일 편집 2021년 1월 10일 조회 3.0K

경제학적 관점에서 기후변화 문제를 한마디로 정의하자면, “공유지의 비극(Tragedy of Commons)”을 발생시키는 “죄수의 딜레마 (Prisoner’s Dilemma)” 문제의 일환이라 할 수 있습니다. 이에 대한 게임이론(Game Theory)에서의 최적화된 해답으로서는 “맞대응 (Tit for Tat)” 전략이 있으며, 이를 상황에 알맞게 국제 정치와 국제 협약에 적용을 시킨다면 상당히 괄목할 만한 기후변화 관련 정치적, 정책적 방법론들을 구상할 수 있을 것이라 저는 기대하고 있습니다.

[#UNFCCC](#) [#게임이론](#) [#국제정치](#) [#국제협약](#) [#기후변화](#)

기후변화(Climate Change)는 지속 가능한 개발(Sustainable Development)과 더불어 21세기를 관통하는 가장 큰 세계적 이슈 중에 하나로 볼 수 있습니다. 하지만, 기후변화에 관심이 있는 사람이라면, 기후변화에 대한 세계적인 큰 관심도 및 중요도와는 다르게 이 문제가 생각보다 정치적, 혹은 정책적으로 빠르게 진전이 되지 않는 현상을 쉽게 직시할 수 있습니다. 왜냐하면, 이는 기후변화라는 현상이 가지는 본질적인 속성이 자본주의에서의 경제학적 인간이라는 개념과 거의 완전히 상반되게 대치가 되기 때문입니다. 그리고 이러한 경제학적 인간이라는 가정 하에서 기후변화 문제는 공유지의 비극을 발생시키는 죄수의 딜레마 문제로 전략해버리고 마는 것입니다. 여기서 공유지는 온실효과를 결정하는 대기의 온실가스(Greenhouse Gas: GHG) 농도 혹은 총량을 의미할 것이며, 죄수는 온실가스를 방출하는 모든 행위자를 일컫게 될 것입니다. 그렇다면, 기후변화 문제를 제대로 풀기 위해서는, 우선 자본주의에서의 경제학적 인간에 대한 개념을 완전하게 이해를 하고, 이들을 기후변화에 이바지할 수 있는 방향으로 전환을 시키는 방법론에 대해 고민하는 것이 가장 현실적이면서도 효과적인 방법론일 것이라 우리는 생각해 볼 수 있습니다.

무정부주의적 상태에서 합리적 선택 이론



기후변화 문제를 제대로 풀기 위해서는, 우선 자본주의에서의 경제학적 인간에 대한 개념을 완전하게 이해를 하고, 이들을 기후변화에 이바지할 수 있는 방향으로 전환을 시키는 방법론에 대해 고민하는 것이 가장 현실적이면서도 효과적인 방법론이 아닐까?

사진 출처 : [Guillaume Falco](#)

우선, 기후변화 문제를 게임이론에 적용하기에 앞서, 국제 정치(International Relations)에서의 현실주의적(Realism) 관점, 경제학(Economics)에서의 이성주의적(Rationalism) 관점에 대해서 먼저 충분히 이해하는 것이 중요합니다. 첫째로, 국제 정치의 현실주의적 관점은 토머스 홉스(Thomas Hobbes)의 “리바이어던(Leviathan)”(1651)에서 정식으로 언급이 되며, 국제 정치를 무정부주의적 상태로 보고 각 국가가 이러한 약육강식의 세계에서 생존하기 위해 이기적 합리성(Self-interested Rationality)을 전제로 행동한다는 가정을 하게 됩니다. 두 번째로, 경제학에서 사용되는 이성주의적 관점은 애덤 스미스(Adam Smith)의 “국부론(The wealth of Nations)”(1776)에서 정식으로 언급이 되며, 합리적 선택 이론(Rational Choice Theory)에 근거해 경제학적 인간은 자신의 이익을 극대화하기 위해 모두가 이성적이며 모든 타인이 이성적이라는 사실을 역시 인지합니다. 이 두 가지 관점을 합치게 된다면, 드디어 기후변화에서 게임이론을 적용할 수 있는 국가 행위자들의 전제 조건이 어느 정도 성립이 됩니다. 한마디로, 각 국가 행위자들은 무정부주의적 국제 정치의 상태에서 이기적 합리성과 합리적 선택 이론에 근거한 행동을 하게 됩니다. 물론, 이는 어쩌면 우리가 상정할 수 있는 기후변화에서의 최악의 가정일 수도 있습니다만, 현재와 같은 극심한 기후위기(Climatic Crisis) 상황 속에서 이와 같은 극단적인 예시와, 이를 해결하기 위한 방법론적 고찰은 분명 매우 크나큰 의미가 있을 것으로 기대합니다. 더불어 이에 대한 해답까지 경제학적 이론을 활용해 나름대로 구성해낼 수 있다면, 실제 기후변화 문제를 해결하는 데에도 충분히 유의미한 결론을 도출해낼 수 있으리라 생각합니다.

각 국가가 기후변화에 협력하기 위한 3가지 단계

일단, 무정부주의적 국제 정치의 상태에서 이기적 합리성과 합리적 선택 이론에 근거한 행동을 하는 각 국가 행위자들을 정치적으로 기후변화에 협력적으로 만들기 위해 게임이론에서는 세 가지 단계들을 언급하고 있습니다. 첫 번째 단계로는, 모든 국가가 전혀 서로 기후변화에 협력적이지 않은 상태에서 일정 단위로 협력을 구성하는 단계로 넘어가는 두 가지 방법이 있는데, 수동적인 관점에서는 기후변화가 현재보다 훨씬 가속되어 기후변화와 관련된 보수 행렬(Payoff Matrix)의 큰 변동으로 인해 연합(Coalition)하는 것이 그렇지 않은 것

보다 개인의 이익에 유리해져 연합이 저절로 자연스럽게 구성이 되는 방법, 능동적인 관점에서는 정부(Government)와 거버넌스(Governance)를 활용하여 기후변화와 관련된 담론들을 꾸준히 수면으로 올려서 정보 단절을 극복하고 신뢰와 믿음을 기저로 한 기후변화 관련 연합들을 끊임없이 자발적으로 생성 및 유지하는 방법 등이 있습니다. 두 번째 단계(Wood, 2010, cited in Maskin, 2007)로는, 아직 완전한 협력(Cooperation) 상태가 형성되지 않은 상황에서 앞에서 구성된 각 연합이 연합에 가입한 구성 국가 행위자들에게는 혜택을 주고, 그렇지 않은 국가 행위자들에게는 불이익을 줘서(Negative Coalition Externality) 기후변화와 관련된 보수 행렬에 끊임없이 개입해 연합을 점차 확대해 이를 거대 연합(Grand Coalition)화하는 방법이 있습니다. 마지막 단계(Wood, 2010, cited in Finus and Rundshagen, 2003)로는, 이러한 과정들을 거쳐 완전한 협력이 이루어져 거대 연합이 완성된다면, 이때부터는 철저한 가입 및 탈퇴 절차를 만들고, 참여 행위자 및 비참여 행위자에 대한 이익과 불이익을 각각 확실하게 보상하는 방법(Exclusive Membership Γ -Game)이 있습니다. 그리고 이러한 마지막 단계를 활용하여 실제 기후변화에서 다룰 수 있는 몇 가지 게임이론적 방법들이 있습니다. 우선, 온실가스 감축 약속에 의견을 일치(Matching Abatement Commitments)시켜야 합니다(Wood, 2011, cited in Bordway, Song and Tremblay, 2011). 그리고 적절한 게임 이론적 흥정(Bargaining)을 통해 각 국가의 온실가스 배출량을 정한 후, 이에 대한 각 국가의 합의를 재확인해야 합니다. 다음으로는, 국제법(International Legal Architecture)과 국내법(Domestic Legislation) 및 이를 기반으로 한 정책들을 통해 온실가스 감축을 이행해야 합니다. 마지막으로, 이와 관련되어 창출된 모든 수익(Revenue)을 온실가스 감축 기여도에 따라 합리적으로 분배할 수 있는 보증 계약(Assurance Contract/Provision Point Mechanisms)을 이행해야 합니다(Wood, 2010, cited in Bagnoli and Lipman, 1989).

온실가스 배출에 따른 이익과 손실을 제도화해야



국가 간 협력에서 선진국, 특히 미국의 자국 내 정책은 나머지 국가간 협력에 큰 영향을 미친다. 사진은, 2020년 미 대선에서 기후변화 정책에 대해 토론에 나선 바이든 당시 후보.
사진 출처 : [Eric Haynes](#)

또한, 이러한 국가 행위자들에게 위의 과정들을 통해 정책적으로 기후변화에 협력적으로 만들기 위해서 첫 번째 단계로는, 무정부적 국제 정치 상태에서 기후변화에 대한 포럼, 컨퍼런스, 회담, 세미나 등을 지속해서 구성하여 정보 비대칭을 해소함으로써, 개인의 최선(Personal Best Choice)을 사회적 최선

(Social Best Choice)으로 환원시키고, 기후변화 관련 연합을 확장할 수 있는 발판을 다지는 것입니다. 두 번째 단계로는, 기후변화 관련 연합들이 구성된다면 각 기후변화 관련 연합국들이 자발적으로 국제 경제 구역(International Economic Area)을 형성하여, 기후변화 방지에 이바지함에 대한 무역 유인책(trade incentives)들을 공유하는 방법이 있습니다. 마지막으로, 이를 통해 완전한 협력이 이루어지는 거대 연합이 형성된다면, 보수적 협력(Conservative Cooperation)을 지속적으로 유지하기 위해 가입 계약서에 탈퇴비(Cancellation Fee)를 제대로 명시하고, 연합 구성원들에게는 이익을, 비연합 구성원들에게는 손실을 주는 방향성을 지속해서 견지해야 합니다. 또한, 온실가스 감축 약속에 대한 의견과 실제 흥정된 감축량을 법제화해야 하며, 국내적 및 국제적 법과 정책을 통해 이를 집행(Enforcing)해야 합니다. 궁극적으로는, 탄소 가격제를 도입해 탄소 시장과 탄소 배출권 거래제를 국제적으로 활성화하고, 때로는 탄소세를 적용함으로써, 온실가스 배출 규제 한도 및 기여도에 비례하여 이익(Profit)과 손실(Loss)을 적절하게 보상합니다.

그렇다면, 위에서 언급한 게임이론 관점에서의 죄수의 딜레마 상태인 기후변화 문제에 대해서 통상적인 국제 정치적, 국제 협약적 전략이 유효하려면, 이를 대변할 수 있는 가장 기저에 있는 경제학적 핵심 이론 및 이를 뒷받침하는 충분한 사회적 실험이 수반되어야 실제 상황에서 정확한 적용이 가능할 것으로 예측할 수 있을 것인데, 다행히도 이에 대한 사회적 실험과 이를 바탕으로 한 이론이 이미 미시간 대학(University of Michigan)에 있는 Axelrod, R. M. 정치학 교수에 의해 “액셀로드 토너먼트(Axelrod’s Tournament)”라는 이름 아래 각각 1978년과 1980년 두 번에 걸쳐서 행해졌습니다. 이는 죄수의 딜레마 보수 행렬(Payoff Matrix)을 기반으로 컴퓨터를 이용한 모의 시뮬레이션 게임이고, 1차 경기와 2차 경기에 각각 14팀과 62팀의 컴퓨터 프로그램들이 참여했으며, 두 경기의 우승은 모두 Tit-for-Tat(tit포뎃) 전략을 처음부터 끝까지 지속적으로 고수한 토론토 대학(University of Toronto)의 Rapoport, A. 교수 팀에게로 돌아갔습니다. 실제로 Rapoport, A. 교수팀이 사용한 Tit-for-Tat 전략의 의사 코드(Pseudo-Code)는 고작 4줄밖에 되지 않을 정도로 Tit-for-Tat 전략은 고도의 단순성을 가지고 있습니다. 또한, 이러한 전략적 단순성으로 인해, 실제 자연계에서도 무리를 이루고 집단생활을 영위하는 많은 수의 종들은 이와 같은 방법을 진화적으로 선택하기도 하는데, 이를 진화 생물학에서는 상호 이타주의(Reciprocal altruism), 혹은 호혜 이타주의(Axelrod, 1984)로 지칭합니다. 여기서 Tit-for-Tat 전략의 의사 코드(Pseudo-Code)는 다음과 같습니다.

```
“Begin”  
if (period == 1) action = “cooperate”  
if (period > 1) action = “actions_opponent[period - 1]”  
“End”
```

더욱이, Case(2018)는 Axelrod의 아이디어(1984)에 기반하여 플래시 시뮬레이션 프로그램을 만들어, 반복되고(Repeated) 진화되는(Evolutionary) 죄수의 딜레마 게임을 다양한 타입의 행위자들을 대입시켜 만들기도 했습니다. 이

게임의 결과로는 Tit-for-Tat 전략이 모든 플레이어가 실수하지 않는 가상의 게임에서는 100% 우위를 점하였으나, 플레이어의 어느 정도의 실수를 고려한 게임에서는 Tit-for-2-Tat 전략이, 플레이어의 실수가 지나치게 빈번할 경우 All-D(All Defection) 전략이 가장 우세함을 보였습니다. 이로써, 이러한 컴퓨터 프로그램 게임으로부터 얻을 수 있는 자산은, 작은 실수는 관용하되 빈번한 실수는 절대 그냥 넘어가지 않는 것이 생태 진화적으로 사회를 더욱더 관용 어린 방향으로 만들 수 있다는 사회적 핵심 윤리입니다. 이러한 관점으로 보았을 때, 축구에서 사용하는 ‘레드카드(Red card)’ 제도(Tit-for-2-Tat), 야구에서 사용하는 ‘스트라이크 아웃(Strike out)’ 제도(Tit-for-3-Tat)와 같은 스포츠 정신이 바로 기후변화 관련 국제 정치와 국제 협약이 잘 작동하게 하기 위한 가장 현실적인 방안이라고 볼 수 있는 것입니다. 또한, 추가로 이러한 전략이 현실 사회에서 실수를 줄이는 방향으로 제대로 작동하기 위해서는 ‘분명한 표현’, ‘신뢰의 지속’, ‘인내심’, 그리고 ‘소통’(Case, 2018) 등이 필요합니다. 이러한 전략을 바탕으로 당근과 채찍(Carrot and Stick Approach)을 이용하여 부정적 상태에서부터 연합을 키워나가고, 완성된 거대 연합을 잘 지속할 수 있게 운영해 나간다면, 그것이 바로 게임이론에서 죄수의 딜레마 상태로 비견되는 기후변화 문제를 가장 지혜롭게 풀어나가는 핵심 비결일 것입니다. 물론, 이러한 구호 속에는 생태계 및 인류 보전이라는 정당성이 기반이 되어야 하며, 이익과 불이익의 보상이 적재적소에서 잘 활용되어야 합니다. 추가로, All-D 전략과 같은 불한당이 사회에 쉽게 난입하지 못하도록 기후변화 정책을 잘 이행하는 국가에 대해서는 반드시 그것에 맞게 프리미엄한 대접을 해야 마땅합니다.

기후변화 정책에는 하나의 정해진 답이 없다

물론, 이러한 해결 방식에도 우리가 기존에 세웠던 전제로부터 오는 한계는 여전히 존재합니다. 진화심리학적인 관점에서 볼 때, 인간은 항상 이기적인 것이 아니라 오히려 적자생존을 통해 생존한 사회적 이념으로서 ‘이타성’, ‘동정’, ‘협동심’, 그리고 ‘공동체 의식’이라는 사회적 본성을 현재 여실히 가지고 있다는 점(Dawkins, 2006), 그리고, 행동경제학적인 관점에서 볼 때, 인간은 항상 이성적인 것이 아니라 사실은 ‘편견’, ‘혐오’, 그리고 ‘휴리스틱’ 등 온갖 모순과 오류의 집합체로도 볼 수 있다는 점들이 우리가 기후변화 문제라는 복잡한 사안에 대해 게임이론이라는 단순한 이론으로 환원하여 분석하기에 매우 부족한 점이 많다는 사실은 분명 의심의 여지가 없습니다. 하지만, 최적의 정치적, 정책적 전략이 나오기 위해서는 분명 다각도의 요소들이 깊이 있게 분석되어야 함에도, 게임이론이 현재에 비견할만한 기후변화의 가장 최악의 상황을 굉장히 심도 있게 학문적으로 고려해볼 수 있는 분야라는 점에서 이 이론으로부터 나온 결과들을 진지하게 음미하는 것에는 분명 큰 의미가 있다고 생각합니다.

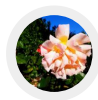
마지막으로 덧붙이자면, 기후변화 정책에는 하나의 정해진 답이 없다고 말할 수 있는 것이, 기후변화와 관련된 합리적인 목표 계획 및 수립에는 상향식의 파리 협약(Paris Agreement) 방식이 분명 더 적합하며, 본 협약에 대한 긍정적인 피드백과 부정적인 피드백 보상을 이행하는 데에는 하향식 스타일의 교토 의정서(Kyoto Protocol) 방식이 분명 더 적합합니다. 따라서 이후에 도모될 기후 협약에서는 두 가지의 장점을 더욱 적절히 잘 살리는 것이 무엇보다 중요

합니다. 그리고, Tit-for-Tat 방식의 궁극적인 목적은 최대한 많은 협력을 끌어내는 것이기에, 혜택 혹은 처벌의 수위를 국제기구(UNFCCC)를 통해서든지 혹은 개별 국가(National State Actor)로서든지 적절하게 정한 후 이를 꾸준히 이행하는 것이 바로 정치가와 정책 입안자가 해야 할 가장 핵심적인 사안일 것으로 생각합니다. 기후변화는 보이지 않는 적입니다. 그렇기에 타자와 경쟁해야 하는 것이 아닌, 온실가스 배출과 관련해서 끊임없이 구체적인 계획과 목표를 세우고, 그 결과와 경쟁(Self-competition)해야 비로소 의미 있는 결실을 보게 되리라 생각합니다.

. . .

■참고문헌(Reference Lists)

- Axelrod, R. (1984). The evolution of cooperation Basic Books. New York.
- Case, N. (2017) The evolution of Trust. Available at: <https://ncase.me/trust/> (Accessed: 05/08/2019).
- Gauthier, D. P. (1969). The logic of Leviathan: the moral and political theory of Thomas Hobbes. Oxford University Press.
- Smith, A. (1937). 'The wealth of nations [1776].'
- Wood, P. J. (2010). 'Climate Change and Game Theory: a Mathematical Survey', Centre for Climate Economics & Policy Working Paper, 2(10), pp. 1-39.
- Wood, P. J. (2011). 'Climate change and game theory', Annals of the New York Academy of Sciences, 1219, pp. 153-170.



영수(榮秀)

저는 매해 때맞춰 활짝 피는 꽃들의 번영과 이들의 빼어난 자태를 항상 동경하며, 기후 변화로 인해 이들의 도태해가는 현실을 항상 우려하고 있습니다.



게임이론을 통해서 본 기후변화에서의 국제 정치와 국제 기후 협약 by 영수(榮秀)

최근 인기글



“데모하는 게 별 받으면, 데모하게 만든 사람들은 무슨 별을 받습니까?”

제 목 : 바이든 정부 산하의 기후변화 정책과 동아시아 주요 4개국의 기후변화 전략
 글쓴이 : 영수(榮秀)

태그 (소분류)	#기후위기	#국제정치	#지속가능성	#그린뉴딜	#탄소가격제
* 태그(소분류)는 5개까지만 입력할 수 있습니다. 띄어쓰기 가능. 예) #철학공방 별난					
요약문	21세기에는 기후위기와 지속가능성이 새로운 키워드가 되는 만큼, 이를 고려하여 국제관계를 새롭게 재설정을 하는 것이 갈수록 중요해지고 있다. 이제 기후위기는 윤리의 문제이기 이전 생존의 문제이며, 이를 과학과 경제에 힘입어 정책적으로 장악하고자 하는 세계 각국의 주요 관심은 어쩌면 필연적이면서도 당연한 이치인 듯 보인다. 이 글에서는 미국을 비롯한 한·중·일·러 등 동아시아 4개국의 기후위기 해결 노력 및 이를 둘러싼 국제관계에 대해 알아본다.				
* 요약문은 3~5줄 내외로 작성					



원고 내용 :

0. 기후변화 정책 및 지속가능성에 대하여

우선 모든 사람이 알다시피, 20세기에서의 주요한 키워드가 자본주의(Capitalism)와 공산주의(Communism)의 이념 경쟁이었다면, 앞으로 21세기에서의 주요한 이념적 키워드는 기후위기(Climate crisis)와 지속가능성(Sustainability)이 될 것입니다. 왜냐하면, 이 두 가지 키워드가 바로 21세기 인류의 생존 문제와 직결되기 때문입니다. 다시 말해서, 20세기에는 인류의 생존 문제가 경제(먹고사는 문제)였기에, 어떠한 방식으로 세계의 경제 체제를 구성할 것인가가 집단 무의식(Collective unconscious)에서 더욱 중요한 부분을 차지했다면, 21세기에는 경제적 풍요 속에서 기후위기와 지속가능성이 어쩌면 경제 체제를 더 앞지를 정도로 집단 무의식에서 인류의 생존 문제에 훨씬 우선순위에 가까운 문제가 되어버릴 것입니다. 따

라서 이러한 주제에 대해 공적으로 잘 언급하는 것이 많은 사람의 이성적, 감성적 공감을 끌어내는 데에 훨씬 적절할 것이며, 또한 기후위기와 지속가능성이라는 단어를 자주 활용할 수 있는 분위기를 잘 조성해 이에 대한 해결책을 구성원으로부터 끌어낼 수 있도록 하는 것이 작은 단위의 기업 혹은 사회 조직부터 큰 단위의 국가나 초국가 기관, 혹은 단체까지 21세기 시대의 급속한 변화에 진화적으로 잘 적응할 수 있는 가장 현명한 방법이라고 할 수 있습니다.

대다수의 고대 부족 사회에서 평화의 시기에는 민주주의적 평등을 통해 부족 내 화합을 유지하였고, 위기의 시기에는 체계적인 위계질서를 통해 위기를 신속하게 타파해 나갔습니다. 고대 부족 사회에서도 상황에 따른 적절한 공동체의 대응 방식 및 우선순위를 진화적으로, 혹은 직감적이면서도 본능적으로 (집단 무의식적으로) 이해하고 있었음을 알 수 있습니다. 평화의 시기에는 정성적인(Qualitative) 가치(생태학적 사고관)가, 위기의 시기에는 정량적인(Quantitative) 가치(합리적 사고관)가 더욱 우선시됨을 인류는 이미 오래 전부터 무의식적으로 알고 있었던 것입니다. 그리고 현재의 기후위기에서 생태학적, 혹은 환경적 가치보다 정량적 데이터 수치 및 위기관리 모델이 매우 중요시 되고, 빈번하게 활용되는 이유도 바로 이러한 연유를 기반에 두고 있다고 할 수 있습니다.

위 두 가지의 내용으로 알 수 있는 것은 앞으로 세계가 기후위기 혹은 지속가능성이라는 키워드로 이념 및 종교에 상관없이 협력을 끌어낼 수 있고 끌어내야만 한다는 사실이며, 각국의 협력 하에서 위 두 가지 키워드에 대응할 수 있는 국가적 질서를 신속히 구성해야만 1) 세계의 문화적 영향력(Soft power)을 성공적으로 장악할 수 있고, 2) 그들의 집단 무의식을 적절하게 포용할 수 있으며, 또한 3) 기후위기와 지속가능성에 필요한 국가별 행동 양식들을 신속하게 이행할 수 있음을 은유적으로 이해할 수 있습니다.



21세기에는 경제적 풍요 속에서 기후위기와 지속가능성이 어찌면 경제 체제를 더 앞지를 정도로 집단 무의식에서 인류의 생존 문제에 훨씬 우선순위에 가까운 문제가 되어버릴 수 있다. by Pixabay 출처

<https://www.pexels.com/ko-kr/photo/269633/>

아이러니하게도 과학(Science)과 경제(Economy)는 자본주의와 공산주의의 이념적 체제 경쟁 속에서도 성공적으로 20세기의 국가 초월적 협력의 도구로 활용이 되어 왔습니다. 이러한 역사와 경험을 바탕으로 기후위거나 지속가능성이라는 21세기의 새로운 이념적 협력 조건에 이를 대입해서 효과적으로 적용할 수 있다면, 기존에 언급하였던 국제 정치와 정책에 기반하고 있는 힘을 통한 협력의 진화에서의 "협력"을 보다 빠르게 이룩해 나갈 수 있을 것으로 기대하고 있습니다. 이러한 점에서 저는 한국에서 현재 강조하고 있는 "그린 뉴딜" (Green New Deal) 정책과 "디지털 뉴딜" (Digital New Deal) 정책의 비전에 상당히 관심을 두고 있는데, 왜냐하면, 기후변화 문제를 과학과 경제, 기술과 기업의 "혁신성"으로 해결하고자 하는 정책적 비전이 '녹색 뉴딜'에 있다고 생각하고 있고, 이를 "Robust Decision Making (RDM)" 차원에서 과학과 경제 체제를 및 기술을 활용해 시스템을 효율적이고 신속하게 관리하고자 하는 정책적 비전이 '디지털 뉴딜'에 있다고

생각하기 때문입니다. 이 말인즉슨, 과학과 경제를 활용해 기후위기 및 지속가능성 문제를 관리 및 해결하고자 하는 의지가 위에서 언급한 두 키워드에 정책적으로 다 녹아 있다는 사실입니다.

어쩌면, 앞으로 이러한 패러다임 속에서 이제부터는 모든 나라에 있어서 다국적 원조(Multilateral assistance)보다는 개별적 원조(Bilateral assistance)가, 외정보다는 내정이 더 중요해진 것이 아닐지 다시금 생각해보게 됩니다. 이 말인즉슨, UN의 약화가 오히려 개별적 국가들 관계망의 재생산이라는, 그리고 호혜적 상호주의(Reciprocity)를 기반으로 한 새로운 국제 협력 체제와 세계 위기관리(Global risk management) 모델의 도래를 알리는 신호탄이자 가능성이 될 수 있다고 생각하는 것이, 사실 기후위기와 지속가능성이라는 키워드와 관련된 협력에 있어서 지정학적 위치는 중요하지 않으면서도 중요하기 때문입니다. 다시 말해서, 기후위기로 인해 모든 국가가 상황에 따라 주변 국가부터 원조의 범위를 점진적으로 넓혀나갈 수밖에 없는 형편입니다. 왜냐하면, 기후위기는 국가를 가리지 않기 때문입니다.

숨페터의 말을 빌려 과학과 경제를 바탕으로 한 기업에 기술 혁신의 핵심적 동인이 숨어있다고 생각한다면, 이러한 혁신을 활용하여 21세기의 이념적 키워드(Ideological keyword) 및 문화적 주도권(Cultural hegemony)인 기후위기 및 지속가능성 문제 해결에 관심을 두고 이를 과학과 경제에 힘입어 정책적으로 장악하고자 하는 동아시아 5개국의 주요 관심은 어쩌면 필연적이면서도 당연한 이치일지도 모르겠다고 생각해봅니다. 이러한 의미에서 지속 가능한 개발 목표(SDG goal)를 요약 및 나열해 본다면 (지속 가능한) 빈곤, 건강, 교육, 평등, 위생, 경제, 시스템, 기후, 환경, 평화, 정의, 협력 (문제) 등이 있습니다. 어쩌면 21세기의 좋은 가치(Good value)에 대한 모든 비전이 여기에 다 담겨있는 것입니다.

분명 국가마다 위 좋은 가치들에 대한 우선순위가 다를 수 있다는 점은 서로 이해해야 한다고 생각하는 것이, 각 국가의 역사, 운영 철학, 비전, 지정학적 위치, 정치 경제적 상황 등 배경이 너무도 다르기 때문입니다. 하지만 공통으로 통용될 수 있는 사실은, 위기의 시대에서의 좋은 보수성으로서 이러한 가치들을 내정에 먼저 투영시키고, 남는 에너지를 외정에 적절하게 분배한다면, 생각보다 좋은 가치로서의 협력의 진화가 전 세계적으로 빠르게 구성이 되지 않을까 하는 생각을 조심스럽게 해보며, 이러한 다양한 좋은 가치들에 대한 담론은 분명 좋은 국제적 외교에 크나큰 시작점이 될 것으로 생각합니다. 그리고 특히 지속 가능한 기후 문제가 21세기 중후반으로 가면 갈수록 급속도로 높은 우선순위(Priority)에 자리 잡게 되어 21세기 말에는 어느 나라에서든지 압도적 1순위로 자리매김하게 될 것이란 것은 기후 과학을 기반 및 토대로 보았을 때 이제는 누구에게나 자명한 사실일 것입니다. 그렇기에 모든 지속 가능한 개발 목표들의 모든 여타 좋은 가치들을 지금부터 기후위기와 잘 엮어서 꾸준히 협력을 구성해 나가는 것이야말로 미래를 점진적으로 준비해 나가는 가장 좋은 전략이라고 할 수 있는 것입니다.

기후변화에 대해 공부하면서 가장 흥미로웠던 점은, 기후변화에 대한 피해를 줄이는 주요한 두 가지 전략, 완화(Mitigation) 및 적응(Adaptation) 전략이 있는데, 비용 편익 측면에서 보면 기후위기에서 완화 전략이 적응 전략의 몇 배 이상의 효과가 있다는 것입니다. 이 말인즉슨, 기후위기에서 죄수의 딜레마를 넘어선 완전 정보(Complete & Perfect information) 상

황에서는 완화 전략이 무조건 우선시 투자될 수밖에 없으며, 미국, 한국, 일본의 2050년 탄소 중립(Net-Zero), 중국의 2060년 탄소 중립(Net-Zero), 러시아의 수소 경제 참여 및 전환 등 기후위기에 있어서 동아시아 국가들의 보이지 않는 노력을 보면서, 동아시아도 유럽에 못지않은 미래 이상을 가지고 있다고 생각을 가지게 되었고, 이에 매우 깊은 감명을 받았습니다.

1. 바이든 정부 산하의 기후변화 정책에 대하여

우선 가장 긍정적으로 평가할 부분은 “바이든 플랜 (Biden plan)”처럼 대통령을 중심으로 미국과 중국이 온실가스 감축 양자 협약을 추진하여 현재 온실가스 배출의 큰 부분을 차지하던 두 경제 강국이 기후변화 대응에 손을 잡게 될 수도 있다는 점입니다. 또한, 이러한 협약을 통해 소득 없이 끝이 없는 치킨 게임(Chicken game)의 굴레로 빠져들 수도 있었던 경제 전쟁의 마감 점을 이러한 양자 협약을 통해 분명히 매듭을 짓고 기후위기와 관련된 경제 혁신이라는 공통분모를 통해 새로운 전략적 협력 관계를 그려볼 수도 있다는 장점이 있습니다. 이와 더불어, 국회를 통해 국민 의견이 수렴되어 어느 정도 합의점을 찾게 되었다면, 그 이후부터는 대통령을 중심으로 한 행정 기관들이 이를 기점으로 정책들을 신속히 구성 및 진행해야 하고, 의회에서 관련 법안들이 이와 발맞추어 검토 및 제정되어야 제대로 일을 할 수 있는 것인데, 기후 관련 업무를 대통령을 중심으로 직접 책임을 지고 이행하겠다고 하는 부분은 어쩌면 현재 우리나라가 미(美) 정부의 비전에서 가장 주목할 만한 부분이라고 생각합니다.

사실 온실가스 배출은 책임론을 부과하기 가장 어려운 영역이며 의미가 없고, 책임지기에 위험(Risk) 부담이 큰 부분인 것이, 역사적으로 현재까지 얼마나 배출하였는가, 현재 얼마나 배출하고 있는가, 1인당 얼마만큼 배출하고 있는가 등 수많은 기준점이 존재하기에, 앞으로 어떻게 줄어나갈 것인지에 대해서 논의를 중점으로 하는 것이 온실가스 감축 관련하여 실속 없고 소모적인 논쟁을 피하고 발전적 논의를 하는 데에 가장 중요한 부분이라고 생각합니다.

추가로, 이러한 논의를 끝으로 경제 전쟁의 마무리로서 기후위기에 기반한 새로운 경제 체제를 함께 구상해 볼 수도 있기에 이를 위기 속의 기회(Opportunity)로 볼 수도 있습니다. 기후위기가 아무리 심하다고 한들 먹고 사는 문제는 항상 우리 옆에 상주할 것이며, 거기에서 기업의 역할은 항상 필연적일 것으로 생각합니다. 또한, 국제 정치 이론 중 자유주의 이론에서 일부를 빌리자면 기업은 전쟁이 일어날 수 있는 최악의 상황을 사전에 방지하는 완충 역할을 하기도 합니다. 제가 숨페터를 들어서 과학과 경제를 통한 협력 및 기업의 혁신적 역할을 강조한 이유도 바로 여기에 있습니다. 기업이 바로 홍보를 통해 좋은 이미지를 쌓아 사람들의 관심을 받고 그것으로 이윤을 창출하는 “사회적 연결망에 대한 탐욕”이며, 저 는 이러한 연결망 속에서 평화와 기후위기의 희망을 동시에 봅니다.

우선, 기후위기에 대한 행동(Action)을 이행하기 위해서 정부가 기업에 실질적으로 할 수 있는 일은 혜택과 규제입니다. 왜냐하면 정부 및 국가는 실질적으로 가치를 추구하며 부를 적



기후변화 문제를 해결하지 않더라도 지구에 사는 생명체인 인간이 죽을 뿐 지구는 죽지 않는다는 사실은 절대 변하지 않는다. by Bill Oxford 출처 : <https://unsplash.com/photos/rdLERs3ZGgQ>

절하게 분배하는 집단이지 이윤을 추구하는 집단이 아니기 때문입니다. 하지만 좋은 혜택과 규제는 기업과 함께 엄청난 시너지 효과를 낼 수 있습니다. 왜냐하면, 정부가 기업에 좋은 가치를 제시할 수 있고, 그 가치를 따르는 기업에 엄청난 혜택을 줄 수 있음과 더불어 다양한 경제적 불확실성으로부터 보호해 줄 수도 있기 때문입니다.

환경, 특히 기후 관련 규제에는 크게 두 가지가 큰 방법론이 존재합니다. 제재를 통한 규제 (Command and control, Regulatory instrument), 그리고 시장을 기반으로 한 규제 (Market-based instrument, Incentive-based instrument)로 주요하게 나눌 수 있으나 1) 특정 화학 물질의 규제가 아닌 다양한 온실가스들을 대상으로 하고 있어 제재의 사회적 비용(Social cost)이 월등히 크다는 점, 2) 기업의 긍정적 혁신(Innovation)을 위해 자율성(Autonomy)이 보장되어야 한다는 점, 3) 실질적으로 온실가스 배출의 책임 소재가 분명하지 않아 도덕적 해이(Moral hazard) 혹은 탄소 유출(Carbon leakage)이 쉽게 일어날 수 있다는 점을 고려하면 후자의 방법이 월등하게 잘 작동할 것이라 예상할 수 있습니다. 그리고 가장 권장되는 기후변화 규제 정책은 바로 "오염자 부담 원칙(Polluter pays principle)"에 기반을 두고 "생태-경제 탈동조화(Eco-economic decoupling)" 원리를 근본으로 한 "탄소 가격제(Carbon pricing)"입니다.

탄소 가격제는 크게 탄소세(Carbon tax)와 배출권 거래제(Emission trading scheme, ETS, Cap-and-trade)로 나뉘는데, 시장을 기반으로 하면서도 제재에 비중을 두어야 한다면 탄소세를, 혁신과 자율성에 비중을 두어야 한다면 배출권 거래제를 활용할 수 있습니다. 탄소세는 기업에 제재를 통한 규제와 달리 기존 세금 책정 방식을 그대로 활용할 수 있기에 사회적 비용이 매우 낮고, 각 국가의 기후위기 대응 관련 세수를 확보할 수 있습니다. 그리고 배출권 거래제는 탄소 경제를 활성화하기 때문에, 기업의 혁신과 자율성을 보장하고 기후위기에 발맞추어 기업 가치를 긍정적으로 변모(Transform)시키는 데에 크게 이바지할 수 있습니다.

하지만, 이러한 탄소 가격제와 같은 시장 기반 규제에는 두 가지 큰 문제(시장 실패, 경제적 비효율)가 있을 수 있습니다. 시장 실패를 먼저 예로 들어보겠습니다. 첫째로, 정보 비대칭성(Information asymmetry)으로 인한 정보 실패(Information failure)입니다. 배출권 거래제 역시 여느 주식 시장과 같이 완전 정보(Perfect information) 상태가 유지될 수 없으므로, 항상 역선택(Adverse selection)과 도덕적 해이가 일어나 시장 기반 규제에는 항상 불확실성이 존재합니다. 그렇기에 탄소 경제에서 정보 투명성과 완전 정보를 유지하도록 돕는 것이 바로 관련 기관과 정부가 해야 하는 일인 것입니다. 둘째로, 행동 실패(Behavioral failure)와 기관 실패(Institutional failure)로 인한 제한된 이성성(Bounded rationality)입니다. 한마디로 개인

도 기관도 완전한 이성성을 가질 수 없으므로 시장 기반 규제에는 항상 불확실성이 존재합니다. 하지만 개인에게는 부드러운 유인(Nudging)으로, 기관에는 생태 혁신(Eco-innovation)으로 오히려 비이성성을 이용해 탄소 가격제가 훨씬 더 잘 작동될 수 있도록 할 수도 있습니다. 물론 사회-기술적 기회의 창(Socio-technical window of opportunity)처럼 부드러운 유인이나 생태 혁신이 실제 기후위기로의 사회 경제적 변화로 이르기 위해서는 매우 긴 시간이 걸리기에 전에도 언급했던 정치인과 행정가, 기업가의 일관적인 신념과 적절한 방법론이 이러한 변화가 긍정적으로 구성되기 위한 가장 중요한 요소라고 볼 수 있는 것입니다. 셋째로, 외부 효과(Externality)로 계산할 수 없는 복잡계적인 유기적 시스템(Complex system)과 가치를 매길 수 없는(Priceless value) 가치처럼 시장 기반 규제에는 항상 불확실성이 존재하며, 기후 과학에 정량적으로 포섭될 수 없는 부분들이 매우 많지만, 이는 환경 경제학(Environmental economics)에서의 "Pareto-improving Cost-Benefit Analysis" 라던지 생태 경제학(Ecological economics)에서의 "Perfusion Analysis for Energy, Entropy and Matter"를 통해서 어느 정도 정량적 환원이 가능하며, 이를 통해 탄소 가격제에 대한 실효성과 의미를 기후 과학에 기반하여 정량적 계산을 할 수 있습니다.

다음으로 경제적 비효율을 예로 들어보겠습니다. 첫째로, 미시경제적 측면에서 정부가 세수를 통해 시장에 개입하게 되면 항상 수요 공급 곡선에서 경제적 비효용(Deadweight loss)이 나오게 됩니다. 둘째로, 거시경제적 측면에서 정부가 시장에 개입하게 되면 역시 경제적 비효용(Crowding out effect)이 나오게 됩니다. 그리고 이를 해결하는 방법은 세금을 효과적으로 활용하면 됩니다. 사실 정부가 시장에 어떻게 개입하느냐에 따라 결과는 천차만별로 나올 수 있으며, 특히, 기후위기에서 탄소 가격제는 기업 당사자들이 기후위기에 맞게 적절하게 전환할 수 있도록 좋은 자극제가 될 수 있을 뿐 아니라, 국가적인 차원에서 그 수익을 그린 뉴딜과 같이 기후위기 관련 중소, 중견, 대기업을 지원하는 방식으로 기업들에 새로운 가치를 제시하고, 관련 사업을 국가가 정책적으로, 혹은 법적으로 보호해 줄 수도 있으므로, 이는 좋은 가치를 통해 국가와 기업의 시너지 효과가 극대화될 수 있는 하나의 좋은 예시로서 충분하다고 생각합니다.

또한, 과학 정책에서도 기후위기와 관련해서 정부가 할 수 있는 일이 정말 무궁무진합니다. 사실 세금을 어떻게 잘 활용하느냐에 대한 답이 바로 과학 기술 정책에 있을 수 있습니다. 학연산 프로그램이나 연구 진흥을 통해 다양한 기후위기 관련 과학기술 정책 투자를 엄청나게 할 수 있으며, 이로써 학문과 연구와 산업이 하나가 되어 이에 대한 해답을 찾고, 이를 시장의 추세 변화로 이끌 수 있는 것입니다. 한마디로 정부가 기업에 시장 기반 규제로 돈을 벌리고, 학연산을 통한 기업의 원천 기술의 발전 지원으로 이를 갚는 것입니다.

또한 이러한 구조적 변화는 분명 과학기술계 혼자서 할 수 있는 것이 아니라 사회 전체의 합의를 끌어내기 위해 학계에서도 정부 혹은 정계와의 협력 하에 상향식 방법(Bottom-up)으로 자연과학 및 기술, 사회과학, 인문학 모든 분야와의 심도 있는 열린 논의를 통해 다양한 관련 담론(Discourse)과 공동체(Community)들을 만들어 내는 것이 중요합니다. 당연하게도 모든 현재 혹은 미래에 대한 유의미한 결론은 과학기술이 빠르게 찾아낼 것이라 확신하지만 사회-기술적 기회의 창을 빠르게 극복하고 사회로부터 충분한 지원을 받기 위해서는 다른 분야와의 소통 역시 매우 필연적일 것이라 확신합니다. 그렇기에 기후 과학을 두고 현

시대의 대표적인 탈정상과학(Post-normal science)의 예시라고 하는 것일지도 모르겠습니다.

어쨌든 온실가스 배출 완화 정책을 하기 위해 대표적으로 필요한 기술의 예를 몇 가지 정리해본다면, 1) 전기로 대부분의 사회 전체 소비 시스템을 전환하고 이 시스템의 탄소 효율(Carbon intensity, $\text{kg}[\text{CO}_2]/\text{dollar}[\text{GDP}]$)을 제로(0)이나 마이너스(-)로 만들어 온실가스를 흡수하고, 에너지를 생산하면서 동시에 돈도 벌고 경제성장도 할 수 있는 태양광, 풍력, 수력, 핵융합 기술 등 신재생 에너지에 투자 및 연구, 2) 화석 연료를 화학 원료 생산 위주로 이용하거나 수소 연료로 전환할 수 있도록 투자 및 연구, 3) 필연적으로 혹은 비용상 화석 연료를 사용해야 하는 경우(ex. 항공, 철강, 화학, 조선, 기계)를 대비하여 이산화탄소 포집, 저장, 활용 기술(CCUS, Carbon Capture, Utilization and Storage)을 투자 및 연구, 4) 친환경 운송 수단의 예로 수소 배터리 자동차 혹은 전기 자동차 개발 투자 및 연구, 5) 기후위기에 따른 식량난 및 질병(ex. 전염병) 대응 투자 및 연구, 6) IT 기술을 활용한 스마트 그린 도시 및 난방을 위한 태양열 에너지, 지열 에너지, 바이오매스 에너지 투자 및 연구 등이 있을 것입니다. 참고로 에너지 효율(Energy intensity, $J[\text{Energy}]/\text{dollar}[\text{GDP}]$)을 높이면 리바운드 효과(Rebound effect)로 인해 이에 따른 에너지의 방만한 사용이 있을 수 있으므로, 1)처럼 근본적인 에너지 혁신이 무조건 필요합니다.

부가적으로 화력 에너지나 원자력 에너지 같은 경우는 이러한 위기에 대응하여 어떠한 식으로 성공적 전환을 할 수 있을지에 대해서 역시 모든 관련 분야와의 심도 있는 열린 논의를 통해 다양한 관련 담론과 공동체들을 만들어 내는 것이 중요하며, 이를 활용하면 분명 사회-기술적 기회의 창을 생각보다 빠르게 극복할 수 있을 것입니다.

이와 아울러, 일례로 태양광 발전 관련해서 정부나 지자체가 각 가정이나 기업, 기관에 설치 비용을 부담하고 생산된 에너지 관련 비용을 일부 세금으로 충당하게 된다면, 각 가정이나 기업, 기관은 정부나 지자체가 무료로 설치도 해 주고, 에너지도 공짜로 얻고, 에너지 관련 세금도 적게 내서 좋으며, 정부나 지자체는 태양광을 설치할 부지를 무료로 공급받고, 세금 저항 없이 에너지 관련 세금도 충분히 충당할 수 있으니, 홍보만 잘 된다면 정부의 개입으로 인해 태양광 발전으로 기후와 경제 관련해서 모두에게 좋은 솔루션이 나올 수도 있습니다. 그리고 정부는 기후위기처럼 높은 불확실성(High uncertainty), 높은 위험도(High risk), 및 높은 취약성(High vulnerability)을 가지고 있는 문제에 대해서 하향식 방법(Top-down)으로써 선제적 예방 원칙(Pre-cautionary principle)를 바탕으로 정책들을 구성하고 시장 실패와 효용 및 효율을 고려해서 철저하게 기후 과학적 데이터를 바탕으로 유연하게 "Robust decision-making (Think-Plan-Act-Look)"를 활용해야 합니다.

2. 동아시아 주요 4개국 (한·중·일·러) 의 기후변화 전략에 대하여

이러한 시대의 변화를 토대로 동아시아 4개국 (한·중·일·러)의 현황에 비추어 각국을 대표하는 기후변화 정책을 살펴보고 이를 우리나라 상황과 비교 대조하여 검토해본다면, 분명 결론 부분에서 우리나라가 배울 점이나 혹은 새롭게 구성해 낼 수 있는 협력 지점에 대한 단서들을 충분히 찾을 수 있을 것입니다.

1) 한국의 그린 뉴딜

한국은 문재인 대통령이 2020년 10월 28일 국회 시정연설에서 처음으로 2050 탄소 중립 계획을 천명했습니다. 그리고 대통령 직속 민관합동 '2050 탄소 중립위원회'도 설치하여 실질적으로 탄소 중립 계획을 이끌어 갈 아이디어들을 지속해서 가공해 나갈 예정입니다. 더불어, 12월 7일 홍남기 경제부총리 겸 기획재정부 장관이 '2050 탄소 중립 추진전략'을 확정·발표했고, 15일 국무회의에서 '2050 장기저탄소 발전전략(LEDs)'과 '2030 국가 온실가스 감축목표(NDC)' 정부안이 확정되었습니다. 이로써, 미국과 마찬가지로 기후위기에 대통령을 필두로 경제 부처가 동참하여 대안을 꾸려나갈 정책적 준비가 드디어 완성된 것입니다. 마지막으로 과학 기술계가 이러한 움직임에 동참하여 기후위기 관련 산학연 프로그램들을 통해 미래 지향적 과학 연구들이 사회-기술적 기회의 창을 넘어서 기업으로, 더 나아가 시장으로 잘 전파될 수 있도록 다른 분야들과 협력을 구성해 나가는 것이 매우 중요하다고 생각합니다.

2) 중국의 스마트 전력 시스템

중국은 2020년 9월 22일 UN 총회에서 시진핑 주석이 2060년 이전까지 탄소 중립 달성 선언하였습니다. 그리고 그 중심에는 전기로 대부분의 사회 전체 전력 소비 시스템을 전환하려는 핵심 기저 목표가 자리 잡고 있습니다. 일단 중국의 전력 시스템의 IT 기술을 활용한 스마트화 부분이 우리나라로서 매우 주목할 만한데, 전력 시스템이 스마트화되면 일단 낭비되는 전력을 최소화할 수 있고 이로써 경제적 가치, 환경적 가치 두 마리 토끼를 동시에 잡을 수 있습니다.

중국이 사실 땅이 굉장히 넓어도 인구수가 많아서 인구 밀도는 우리나라와 거의 비슷하기에, 우리나라도 현재 중국과 같이 자체적 전기차 생산 기술 확보 및 해외 전기차 생산 기업에의 투자에 집중하고 있는 부분은 매우 바람직한 현상이라고 생각하고 있습니다. 사실 화물을 실어 나르는 용도의 차나 배는, 거대 화물을 시간 내에 운반하기도 해야 하고, 이로써 자주 충전소에 들릴 수가 없기에 배터리에 저장되는 에너지 밀도 측면이 매우 중요하며, 이 점에서는 수소 자동차가 전기 자동차보다 압도적입니다. 하지만, 시장 상용화 면에서 수소차보다 전기차가 훨씬 나은 이유는, 전력은 언제나 빛의 속도로 전달이 되며, 기존 전력 시스템을 이용하여 어디에서든 쉽게 충전할 수 있도록 시스템을 구축하는 것이 수소보다 전기가 훨씬 쉽기 때문입니다.

3) 일본과 핵융합 기술의 미래

일본은 2020년 10월 26일 스가 총리가 의회 연설에서 2050 탄소중립 목표 선언을 하였습니다. 그리고 그 중심에는 원자력 기술을 이용해 기존에 가지고 있던 원자력 발전의 모순점을 대체할 수 있는 새로운 핵융합 기술을 어떠한 식으로 운용할지에 대한 큰 관심이 있을 것입니다.

현재 전 세계가 머리를 모아 핵융합 기술에 대해 과학 협의체를 구성하고 분업하여 이를 구상하고 있으며, 이것이 실제 완성되어 운용되기까지는 최소 5년 정도 걸릴 것으로 예상하고 있는데, 이 정도 시간이면 기존의 원자력 관련 전문 인력들을 활용하여 점진적으로 원자력 발전 비중을 줄여나가고 동시에 핵융합 기술 및 운용에 대한 전문적 교육을 진행할 수 있는 충분한 유예 기간이라고 생각합니다. 즉, 기존의 원자력 관련 전문 인력을 핵융합 기술에 및 운용에 거의 그대로 활용할 수 있어 고급 인력의 실업 문제가 발생하지 않을 수 있다는 장점이 있습니다. 또한, 핵융합 기술의 장점은 핵융합 후 부산물이 방사성을 거의 띠지 않는 헬륨 원자라는 것입니다. 만일 기존의 원전과 달리 열악한 지질학적 조건 속에서도 제대로 안전성을 갖추고 운영될 수 있다면, 기후변화와 지속가능성이라는 두 가지 21세기 신윤리를 충족하는 이상적인 기술이 아닐 수 없다고 생각합니다.

다만 우리나라와 달리 일본의 지질학적 요건을 보았을 때, 핵융합 기술의 안정성을 보장하기 매우 어려우며, 이를 해결하는 방법은 영화 '아이언맨'에서도 나오듯이 크기를 대폭 줄이고 핵융합 조건의 온도도 최대한 낮추어 관리 가능할 정도로 한 후에야 실제 도입 및 운용을 할 수 있을 것이라 예상해봅니다.

4) 러시아의 수소 경제로의 전환

러시아는 중국과는 달리 훨씬 거대한 영토를 가짐에도 불구하고 인구 밀도가 그리 높지 않고, 대부분 사람이 사는 곳이 동서 양극단에 위치합니다. 그렇기에 만일 전력을 이용해 에너지를 공급할 시 전력을 이송하는 과정(전선)에서 에너지 손실이 크게 나게 됩니다. 그렇기에 전력 이송 시에 전력 손실을 줄일 수 있고, 에너지 저장 기술면에서 에너지 집약도가 훨씬 높은 수소 경제가 훨씬 더 적합하다고 볼 수 있습니다.

게다가 배보다 훨씬 빠르면서도 에너지 투입 당 운반 효율이 배 다음으로 좋은 시베리아 기차 노선이 이미 동서 양극단 사이를 이어주고 있고, 러시아에서 대량 생산되고 있는 천연가스(메탄)를 수소로 전환시키는 기술이 이미 상용화되는 단계까지 접어들고 있으니, 어쩌면 러시아는 아무리 스마트 전력 시스템의 장점이 많더라도, 광활한 영토의 천연자원을 이용하여 수소 경제를 하게 되면서 얻는 이득을 포기하기 어려울 것이며, 실제로도 이로써 얻는 이득이 배로 많을 수밖에 없습니다. 왜냐하면 수소 경제가 전 세계적으로 활성화하게 된다면, 온실가스의 주범으로 알려진 메탄가스를 연소 시 물이 나오게 되는 수소 연료로 바꾸어 세계시장에 석유를 대체하는 에너지원으로 판매할 수도 있으며, 이는 우리나라에서도 기술 여건상, 혹은 비용상 전기가 사용되기 어려운 분야에서 화석 연료를 대체할 수 있는 하나의 좋은 대안이 될 수 있습니다.

3. 결론

21세기에는 기후위기와 지속가능성이 새로운 키워드가 되는 만큼, 이를 고려하여 새로운 관계의 재설정을 하는 것이 중요합니다. 하지만, 이와 동시에 기후위기와 지속가능성 문제가 모든 나라에 커다란 위협으로 다가오는 만큼, 내정을 잘 챙기는 것을 필두로 호혜적 상호주

의에 기반하여 점진적으로 원조 및 관계망을 넓혀나가 국제협력을 새롭게 구성하는 것이 어찌면 가장 현실적일 것입니다. 지속 가능한 개발 목표에서 좋은 가치에 대한 우선순위가 각 국가의 현황에 따라 물론 다를 수는 있습니다. 하지만, 21세기 중반에는 기후위기가 거의 어느 나라에서든 가장 우선순위에 오를 것이기 때문에, 기후위기에 지금부터 발을 맞추지 않는 것은 나쁜 것이라기보다는 멍청한 것입니다. 왜냐하면, 이제부터 이 문제는 윤리의 문제이기 이전 생존의 문제이기 때문이며, 이는 21세기 말에는 더욱더 자명해질 것입니다.

그리고 이와 더불어 기후 과학의 정량적인 특성은 위기가 다다를수록 더욱더 강화될 것이며, IT 기술을 기반으로 한 RDM 방법론을 활용해 국가별로 위기관리에 성공해야만 새롭게 국제협력이 가동되었을 때 비로소 웃으면서 마주 볼 수 있을 것입니다. 특히, 저는 기후위기에 있어서 과학과 경제, 기술과 기업의 "혁신"에 더욱 초점을 맞추려고 합니다. 그동안 다양한 행동(Action)으로 세상이 진정으로 원하는 바에 대해 사람들이 어필하였다면, 이제부터는 일 잘하는 행정가, 정치가, 기업가가 "혁신"을 통해 이에 대해 답을 내어볼 시간이 온 것입니다. 그러한 가능성에 대한 큰 그림부터 세부 사항까지 학자들과 꿈나무 학자들이 미래를 그릴 것이며, 국가가 좋은 가치에 대한 지침 혹은 비전을 보여준다면, 이를 그려내는 것은 어찌면 그들에게는 생각보다 정말로 쉬운 문제일 수도 있는 것입니다. 그리고 각 국가가 자기의 색깔에 맞게 이러한 비전에 응대하면 될 것입니다.

위기의 시대에는 작은 시시비비에 연연하지 않고 큰 그림을 제대로 보고 그것에 맞게 대응해야 시기를 놓치지 않습니다. 기후변화에 대해 제대로 검토하려면 IPCC 제6차 평가보고서(AR6)를 확인하는 것이야말로 현재 상황이 어떠한지 확인할 수 있는 가장 확실한 방법이며, 적어도 제가 알기로는 21세기가 지금 이 문제를 해결하느냐 마느냐의 갈림길 그 자체인 것만은 확실합니다. 이 문제를 해결하지 않더라도 지구에 사는 생명체인 인간이 죽을 뿐 지구는 죽지 않는다는 사실은 절대 변하지 않습니다.

조금 더 솔직해지자면, 기후위기는 말 그대로 우리를 위해서 해결해야 할 문제입니다. 이러한 상황 앞에서, 앞으로 21세기만큼은 경쟁하더라도 조금 더 좋은 것을 위해 경쟁하고, 싸우더라도 좀 더 멋진 가치로 싸웠으면 좋겠다는 것이 저의 작은 바람입니다.