

기본연구 | 23-11

이동통신 네트워크 인프라 산업 생태계의 전환 방향 연구

여재현/박지현/윤도원/장희선/김선우/정인준/박의환

2023. 12



기본연구 | 23-11

이동통신 네트워크 인프라 산업 생태계의 전환 방향 연구

여재현/박지현/윤도원/장희선/김선우/정인준/박의환

2023. 12

서 언

이동통신 산업은 그 동안 우리나라의 ICT 산업 활성화 및 경제 발전에 크게 이바지한 분야입니다. 우리나라의 이동통신 산업은 서비스 산업과 단말기 산업 중심으로 발전해 왔으며, 내수시장을 바탕으로 네트워크 장비 산업 또한 대기업 및 중소기업의 생태계를 유지해 오고 있었습니다. 최근 들어 5G 이동통신의 시작과 미국과 중국의 갈등 등으로 이동통신 네트워크 장비 산업의 해외 시장 진출이 과거 대비 활발해진 것도 사실입니다. 그러나, 5G 이동통신 네트워크의 구조 변화와 서비스 사업자의 네트워크 투자 지연으로 국내 이동통신 제조 산업의 기반이 흔들리고 있습니다. 특히 중계기 중심의 중소기업의 이동통신 네트워크 산업 기반이 어려워지고 있으며, Open RAN 및 환경 분야 규제 등으로 전체 이동통신 네트워크 산업이 중장기적인 도전에 직면하고 있습니다. 주요국에서는 이러한 환경변화에 대응하기 위해 자유무역 체제에서 금기시해 오던 산업정책(industrial policy)을 강화하고 있습니다. 이에 본 연구 보고서는 이동통신 네트워크 산업을 둘러싼 중장기적 환경변화를 살펴보고, 산업정책 측면에서 우리나라가 어떠한 접근을 해야 하는지 제시하고 있습니다.

본 연구를 수행한 정보통신정책연구원 및 외부 연구진분들에게 감사를 전하며, 본 보고서가 우리나라 이동통신 네트워크 산업 활성화를 위한 정책 수립에 종합적인 방향을 제시할 것이라고 기대합니다. 감사합니다.

2023년 12월
정보통신정책연구원
원 장 배 경 울

목 차

서 언	1
제1 장 서 론	13
제2 장 이동통신 네트워크 구조와 산업생태계	15
제1 절 이동통신 네트워크 구조 및 진화 방향	15
1. 5G 통신 기술의 특징	15
2. 5G 이동통신 RAN	20
3. 5G 기술의 6G로의 발전 방향	21
제2 절 이동통신 네트워크 산업생태계 현황	28
1. 이동통신 네트워크 산업의 범위	28
2. 이동통신 네트워크 장비 산업 규모	31
제3 절 국내외 정책 동향	34
1. 산업정책의 확산	34
2. 네트워크 산업 관련 국내 정책	36
제3 장 환경규제·지속가능성과 이동통신 네트워크 산업	41
제1 절 정책 동향	42
1. 한국	44
2. 유럽	47
3. 미국	54
제2 절 기술 동향	56

1. 이동통신 네트워크 인프라의 전력 소모	56
2. 에너지 효율의 평가 기준	57
3. 5G 이동통신 네트워크 에너지 효율화 연구 동향	60
제 3 절 산업 동향	69
1. 삼성(Samsung)	69
2. 노키아(NOKIA)	71
3. 에릭슨(Ericsson)	72
4. 화웨이(Huawei)	74
5. 퀄컴(Qualcomm)	76
6. ZTE	77
7. SKT	78
제 4 장 Open RAN과 산업정책 분석	80
제 1 절 Open RAN의 중요성	80
제 2 절 Open RAN의 개념 및 시장 현황	82
1. Open RAN의 개념	82
2. RAN 및 Open RAN 시장 현황과 전망	85
제 3 절 미국의 Open RAN 산업정책 및 글로벌 전략	87
1. 미국의 이동통신 RAN 산업 주도권 상실	87
2. 미국의 Open RAN 관련 산업정책 법안	90
3. 글로벌 전략으로서의 Open RAN	95
제 5 장 산업정책 성과에 대한 사례 분석	101
제 1 절 산업정책의 정의 및 경향	101
1. 산업정책 정의 및 근거	101
2. 산업정책의 변화와 최근의 경향	103

제 2 절 산업정책의 사례 분석	107
1. 산업정책의 일반적인 효과 추정 연구 분석	107
2. 자국 산업 보호를 위한 산업정책 사례 연구 분석	111
3. 자국 산업육성을 위한 산업정책 사례 연구 분석	114
4. 미·중 무역분쟁의 영향에 대한 사례 연구 분석	120
제 6 장 텍스트마이닝을 통한 산업정책 글로벌 추이 분석	126
제 1 절 분석 절차 및 방법	126
1. 분석 개요	126
2. 데이터 수집 및 평가	127
3. 텍스트 마이닝	128
4. 로지스틱 회귀분석 모형	130
5. 분류분석 모형의 성능평가	138
제 2 절 산업정책 분류 분석 결과	142
1. 학습 데이터 분석	142
2. 로지스틱 회귀분석 모형	151
3. 산업정책 분류 결과	162
4. 분석 결과	182
제 7 장 결론 및 시사점	185
1. 환경 규제와 지속가능성을 위한 시사점	185
2. Open RAN과 산업정책에 대비하기 위한 고려사항	186
3. 산업정책 사례분석의 시사점	191
4. 산업정책 글로벌 추이 분석의 시사점	195
참고문헌	197

표 목 차

〈표 2-1〉	이동통신장비산업 구성요소(5G 기준)	30
〈표 2-2〉	세계 이동통신 네트워크 장비 시장 매출	31
〈표 2-3〉	K-Network 2030 전략의 추진전략	36
〈표 2-4〉	6세대(6G) 연구개발(R&D) 6대 분야 10대 과제	39
〈표 2-5〉	6G 포럼 핵심 목표	40
〈표 3-1〉	온실가스 배출의 구분	43
〈표 3-2〉	제3차 계획기간 전부 무상할당 업종 구분	46
〈표 3-3〉	유럽 환경규제 분야별 추진 상황	48
〈표 3-4〉	유럽 그린딜의 주요 내용	49
〈표 3-5〉	Fit for 55 주요 내용	50
〈표 4-1〉	혁신 기금 배제 대상자	93
〈표 4-2〉	국무부 보고서에 포함되어야 하는 주요 사항	94
〈표 4-3〉	인도-태평양 전략의 10대 이행 계획	96
〈표 4-4〉	Quad 정상 공동성명(2021.9.24.) 중 Open RAN 관련 주요 내용	97
〈표 4-5〉	우리나라의 '인도-태평양 전략' 중 Quad 부분	98
〈표 4-6〉	한미 정상 공동성명 중 Open RAN 부분	98
〈표 4-7〉	ORPC 회원 분류(국가별/업종별)	99
〈표 6-1〉	텍스트 마이닝 요소 기술	128
〈표 6-2〉	분류 데이터 분석모형의 성능평가 지표	139
〈표 6-3〉	학습 데이터 구성 요소(컬럼명)	142
〈표 6-4〉	산업정책의 정의	144

〈표 6-5〉 산업 및 비산업정책의 예	146
〈표 6-6〉 산업정책(IP=1) 설명문의 TF 값 상위 10개 단어	149
〈표 6-7〉 비산업정책(IP=0) 설명문의 TF 값 상위 10개 단어	150
〈표 6-8〉 N-gram 수행 결과	157
〈표 6-9〉 산업 및 비산업 정책별 GTA 평가	175
〈표 6-10〉 산업 및 비산업 정책별 발효중인 정책(2023년 8월 기준)	175
〈표 6-11〉 적용 업체별 분류(Eligible Firms)	178
〈표 6-12〉 개입 유형(Intervention Type) 상위 10개	178
〈표 6-13〉 한국, 미국, 중국의 상위 10개 정책 수단 비교	181

그 림 목 차

[그림 2-1] 4G(IMT-Advanced)와 5G(IMT-2020)의 KPI 비교	16
[그림 2-2] 5G 네트워크 통신 주파수 대역	17
[그림 2-3] 5G 스몰셀, 매크로셀 통신 환경 예시	18
[그림 2-4] 5G 이동통신 네트워크의 구조	20
[그림 2-5] 5G 이동통신 네트워크 RAN의 운용 방식에 따른 분류	21
[그림 2-6] 6G 광통신 기술 전망	23
[그림 2-7] 5G MEC 기술의 기본 개념	24
[그림 2-8] 5G 통신에서의 NTN 네트워크 기술	25
[그림 2-9] AI-based RAN 기술	26
[그림 2-10] 5G와 6G의 NWDAF 비교	28
[그림 2-11] 이동통신 네트워크 구조	29
[그림 2-12] 기술방식별 RAN 및 core 시장 전망 (2020~2027)	32
[그림 2-13] 통신장비산업의 가치사슬 단계별 평균 매출(2020년)	33
[그림 2-14] 전체 무역정책 중 산업정책의 비중	35
[그림 2-15] 오픈랜 장비 국제인증체계(K-OTIC) 주요 역할 및 기능	37
[그림 2-16] 오픈랜 기술 단계별 연구개발(R&D) 추진 방향	38
[그림 3-1] 유럽 그린딜의 주요 정책추진 경과	47
[그림 3-2] 5G 이동통신 네트워크의 전력 소모 비율 현황	57
[그림 3-3] 6G 이동통신 핵심 성능 지표에 제시된 에너지 효율 지표	57
[그림 3-4] 송신 전력에 따른 에너지 효율 함수 그래프	59
[그림 3-5] 5G 에너지 효율화를 위한 기술 분류	61

[그림 3-6] 이동통신 네트워크 전력 소모 감축을 위한 프로젝트 타임라인	62
[그림 3-7] 데이터 트래픽에 따른 에너지 효율 개선 방안	62
[그림 3-8] Massive MIMO RU 내 전력 소모 비율 분석	63
[그림 3-9] CCDF에 따른 PAPR 수치 분석	64
[그림 3-10] Multi-cell OFDMA 시스템 네트워크 구조	65
[그림 3-11] Network cell topology 및 기지국 밀도 분석 결과	66
[그림 3-12] C-RAN 테스트베드 셋업과 에너지 소모 실험 결과	68
[그림 3-13] RF energy harvesting network architecture	68
[그림 3-14] 셀 사이트 내 vDU 풀링 기반 vDU pool 에너지 효율 향상 기술	69
[그림 3-15] 단말기의 수에 따른 스케일링과 풀링 기반 에너지 효율 향상 기술	70
[그림 3-16] 다이내믹 스케일링을 통한 네트워크 프로토콜의 용량 조절	70
[그림 3-17] NOKIA의 'Liquid cooled AirScale base station' 기술	71
[그림 3-18] NOKIA에서 개발한 SoC 구조와 5G RAN	72
[그림 3-19] Ericsson의 AI 기반 에너지 효율 향상 기술	73
[그림 3-20] Ericsson에서 개발한 Smart Connected Site 기지국	73
[그림 3-21] 머신러닝 기법을 적용한 MIMO sleep 기술	74
[그림 3-22] Huawei에서 개발한 Dual Band 초광대역 RRU	75
[그림 3-23] Huawei의 Advanced C-RAN architecture	76
[그림 3-24] Qualcomm의 Edgewise	77
[그림 3-25] ZTE의 PowerPilot solution	78
[그림 3-26] SKT Green AI	79
[그림 4-1] 기존 RAN과 Open RAN 개념 비교	83
[그림 4-2] 5G 이동통신 네트워크의 vRAN, Open RAN의 구조	84

[그림 4-3] 전 세계 RAN 시장 업체별 점유율(2022년 기준)	85
[그림 4-4] 1990년대 통신장비 시장 점유율	88
[그림 4-5] 이동통신 네트워크 장비 시장 국가별 점유율 (1997년 vs. 2022년)	89
[그림 4-6] 5G 표준에 반영된 특허 수의 국가별 점유율	89
[그림 5-1] 관세에 따른 수출탄력성	122
[그림 6-1] 로지스틱 회귀함수	132
[그림 6-2] 확률적 경사하강법	137
[그림 6-3] 혼동행렬(Confusion Matrix)	138
[그림 6-4] Receiver Operating Characteristic(ROC) 곡선	140
[그림 6-5] AUC 범위에 따른 성능평가	141
[그림 6-6] 학습 데이터의 기술통계량	143
[그림 6-7] 산업정책의 정의에 대한 워드 클라우드 분석	145
[그림 6-8] 산업정책(IP=1) 설명문 단어의 수 분포	148
[그림 6-9] 산업정책(IP=1) 설명문의 워드 클라우드	148
[그림 6-10] 비산업정책(IP=0) 설명문 단어의 수 분포	149
[그림 6-11] 비산업정책(IP=0) 설명문의 워드 클라우드	150
[그림 6-12] 산업정책과 비산업정책의 TF 상위 10개 단어	151
[그림 6-13] 로지스틱 회귀분석 모형 구축 및 분석 절차	152
[그림 6-14] 데이터 처리 작업 결과	153
[그림 6-15] 데이터 적재 작업 결과	154
[그림 6-16] 로지스틱 회귀분석 모형 분석 결과(Baseline 모형)	155
[그림 6-17] 로지스틱 회귀분석 모형 분석 ROC 곡선(Baseline 모형)	155
[그림 6-18] 최적 하이퍼 파라미터 적용 결과	156
[그림 6-19] 확률적 경사 하강법 적용 결과	157
[그림 6-20] N-gram=(1, 2)에 대한 성능분석 결과	158

[그림 6-21] N-gram=(1, 2)에 대한 ROC 곡선	158
[그림 6-22] 특성의 수에 따른 정확도 및 AUC	160
[그림 6-23] 확률적 경사 하강법 적용 결과(특성의 수=100개)	160
[그림 6-24] 확률적 경사 하강법 적용 결과(특성의 수=1,000개)	161
[그림 6-25] GTA 글로벌 정책 정보	162
[그림 6-26] GTA 정책 설명문(Description)	163
[그림 6-27] 라벨링되지 않은 데이터의 속성 및 기술통계량	164
[그림 6-28] 연도별 글로벌 정책의 수	165
[그림 6-29] 정책 설명문에 대한 워드 클라우드	165
[그림 6-30] 정책에 포함된 단어의 수 분포	166
[그림 6-31] GTA 평가(GTA Evaluation)	167
[그림 6-32] 발효 중인 정책의 수 (Currently in Force, 2023. 8. 25. 기준)	167
[그림 6-33] 시행 관할국별 정책의 수(Implementing Jurisdiction)	168
[그림 6-34] 시행 관할국별 정책의 수(Implementing Jurisdiction) 트리맵	169
[그림 6-35] 개입 유형(Intervention Type)	171
[그림 6-36] 연도별 산업 및 비산업 정책의 수	172
[그림 6-37] 연도별 산업 및 비산업정책의 비율	172
[그림 6-38] 산업정책 설명문에 대한 단어 분포	173
[그림 6-39] 산업정책(IP=1)에 대한 워드 클라우드	173
[그림 6-40] 비산업정책 설명문에 대한 단어의 수 분포	174
[그림 6-41] 비산업정책(IP=0)에 대한 워드 클라우드	174
[그림 6-42] 산업정책(IP=1) 시행 관할 국가	176
[그림 6-43] 비산업정책(IP=0) 시행 관할 국가	177
[그림 6-44] 시행관할권이 대한민국인 경우 정책 건수	179

[그림 6-45] 시행관할권이 대한민국인 경우 (산업, 비산업) 정책 건수 179
[그림 6-46] 시행관할권이 대한민국인 경우 (산업, 비산업) 정책의 비율 .. 180
[그림 6-47] 시행관할권이 대한민국인 경우 산업 정책의 워드 클라우드 .. 180

제1장 서론

이동통신 산업은 1990년대 이후 급속하게 성장하면서 이제는 미래 혁신 기술의 인프라 역할을 수행하는 기초 산업으로 자리매김하였다. 이동통신 네트워크 인프라의 고도화가 타 산업에 미치는 영향이 지대함에 따라 미국, 중국의 양대 강국은 이동통신 산업을 갈등이 표출되는 영역 중 하나로 활용하고 있다. 5G 이동통신은 미국과 중국의 미래 기술 경쟁력 확보 측면의 대립에서 도화선 역할을 수행했으며, 현재도 자국 중심의 경쟁력 확보를 위한 대립은 지속되고 있다. 특히 양국의 대립은 ‘산업정책의 귀환(Return of Industrial Policy)’이라고 부를 정도로 자국 산업 보호 및 육성을 위한 강력한 산업정책을 통해 나타나고 있다. 이에 따라 글로벌 협력을 통해 30여 년간 구축되어 온 이동통신 산업 생태계는 새로운 전환을 마주하고 있다. 생태계가 미국과 중국, 그리고 각자의 동맹국을 중심으로 양분될 뿐만 아니라 양국이 각자 강점을 갖고 있는 산업 중심으로 전개될 가능성이 커지고 있는 것이다.

특히 환경 규제와 Open RAN은 이동통신 네트워크 산업의 생태계를 전환할 수 있는 두 가지 핵심 요인이다. 환경 규제는 이동통신 산업뿐만 아니라 전체 산업에 적용되는 거시적 요인이라 볼 수 있으며, Open RAN은 클라우드/AI 산업과 융합을 통한 이동통신 네트워크 산업생태계 전환의 촉매제로 작용할 수 있는 미시적 요인이라고 볼 수 있다. 주요국은 해당 요인에 대해 산업정책을 추진하고 있으며 이를 통해 자국 중심의 경쟁력을 강화하고 적대적 국가를 배척하여 글로벌 생태계를 재구성하려는 움직임을 보이고 있다. 이러한 움직임은 수출 중심의 성장을 이루어 온 우리나라의 산업 경쟁력에 위기로 작용할 가능성이 높다. 우리가 위기를 새로운 기회로 바꾸기 위해서는 이동통신 네트워크 산업생태계 전환의 핵심 요인인 환경규제와 Open RAN에 대해 국내 산업체가 선도적으로 적응해 나가야 하며 이를 위해서 정책적으로 어떤 지원이 필요한지 확인할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 두 가지 핵심 요인에 대해 국제적인 산업정책 추이를 살펴보고 산업정책이 국내 경제에 미치는 영향을 분석하여 국내 산업정책의 지향점과 수준에 대해 시사점을 도출하고자 한다. 또한 이에 대응하는 국내 이동통신 네트워크 산업 경쟁력 확보를 위한 시사점을 제시하고자 한다.

본 보고서의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 이동통신 네트워크 구조와 산업 생태계, 국내외 네트워크 정책 동향에 대해 살펴보고, 제3장에서는 환경규제와 지속가능성에 대해 분석한다. 제4장에서는 Open RAN 관련 산업정책, 특히 미국의 산업정책을 중심으로 살펴보고 향후 진행 방향을 분석한다. 제5장에서는 산업정책의 효과에 대한 기존 실증 연구 결과를 분석하여 산업정책 효과의 긍정적 또는 부정적 측면의 사례를 제시한다. 제6장에서는 텍스트마이닝을 기법을 적용하여 글로벌 산업정책의 추이를 분석한다. 마지막으로 제7장에서는 앞 장에서 논의된 결과를 종합하여 국내 정책에 주는 시사점을 도출한다.

제 2 장 이동통신 네트워크 구조와 산업생태계

제 1 절 이동통신 네트워크 구조 및 진화 방향

1. 5G 통신 기술의 특징

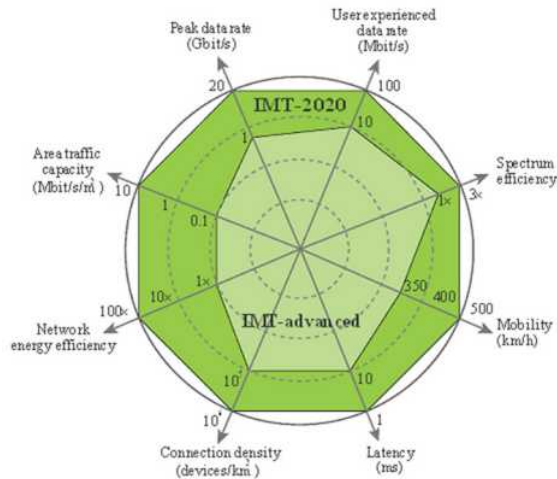
21세기 초반부터 현재까지 디지털 기술의 발전에 따른 모바일 인터넷의 사용량은 기하급수적으로 증가하고 있다. 4세대(4G) 이동통신 LTE(Long Term Evolution)는 증가하는 모바일 통신의 수요를 충족시키는 통신 수단으로써 스마트폰 및 다양한 통신 장치에 원활한 통신 서비스를 제공하였다. 하지만 급변하는 기술 발전에 따른 통신 요구사항 증가와 이동통신 단말기의 사용량이 급증함에 따라 더 빠르고 효율적인 통신 기술이 요구되었다. 5세대 (5G) 통신 기술은 이러한 요구사항을 충족시키기 위해 등장하였다. 국제표준 기구 3GPP(3rd Generation Partnership Project)는 Release-15에서 최초로 국제 5G NR (New Radio) 표준을 완성함으로써 5G 이동통신 기술의 기반을 마련하였다. 5G는 초광대역 (enhanced Mobile Broadband, eMBB), 고신뢰·초저지연 (Ultra Reliable & Low Latency Communications, URLLC) 및 초연결(massive Machine-Type Communications, mMTC)을 목표로 개발되었으며 용도에 따라 적합한 통신 서비스를 제공할 수 있도록 설계되었다(3GPP, 2023b). 3G/4G 대비 5G 이동통신 서비스는 다음과 같은 차별점을 갖는다.

가. 초고속·초저지연·초연결

ITU-R(International Telecommunication Union Radio communication sector) 회의는 4G와 5G 통신 환경의 성능 차이를 논의하기 위해 5G 통신의 목표 주요 성능지표(Key Performance Indicator, KPI)를 정의하였다. [그림 2-1]은 8가지 KPI의 기존 4G 통신 대비 목표 성능 비교를 나타낸다. 5G 성능은 기존

4G 통신 대비 전송속도는 약 20배 향상, 전송 지연시간은 약 10배 단축을 목표로 한다. 또한, 5G 통신에서는 스마트 기기 및 센서 등 다수의 IoT(Internet of Things) 장비를 수용하기 위해 1km²당 연결가능한 단말 수를 약 10배 증가시키는 것을 목표로 한다.

[그림 2-1] 4G(IMT-Advanced)와 5G(IMT-2020)의 KPI 비교

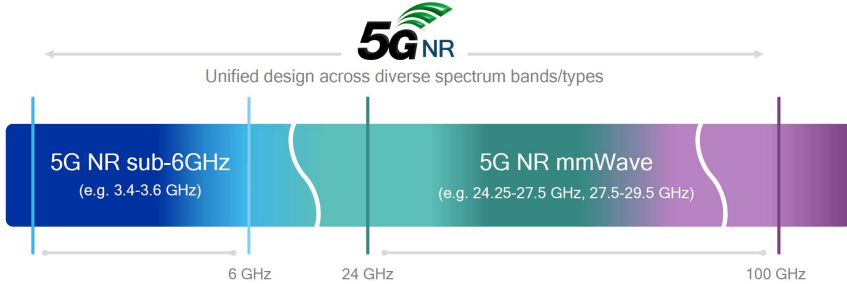


자료: ITU(2018), p. 5

나. 주파수 대역 확장

5G 이동통신은 고속의 데이터 전송 속도와 확장된 통신 용량을 제공하기 위해 밀리미터파 (millimeter-wave, mmWave) 대역을 활용한다. mmWave는 [그림 2-2]와 같이 반송파 주파수가 24GHz~100GHz 사이인 고주파 대역을 의미하며, 넓은 대역폭을 통한 대용량 데이터 전송을 가능하게 한다.

[그림 2-2] 5G 네트워크 통신 주파수 대역



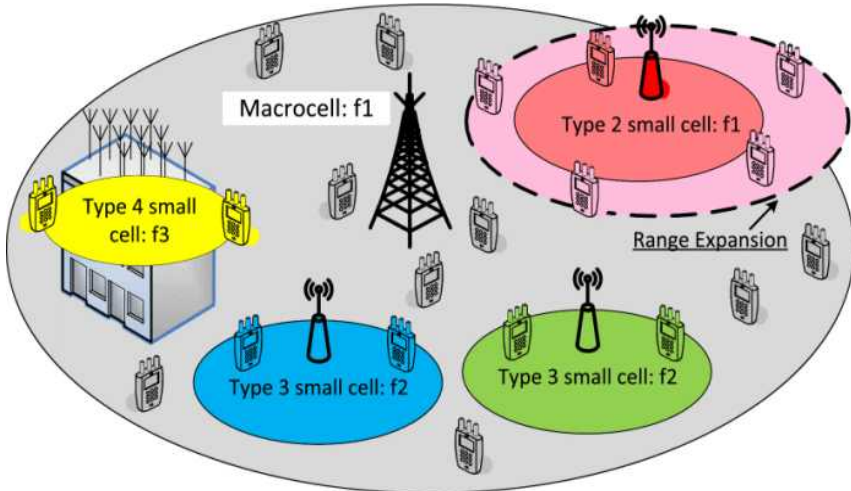
자료: 켈컴코리아(2017)

켈컴이 시행한 5G NR망과 단말 기기의 성능 실험 결과 중 5G sub-6GHz와 mmWave 대역에 따른 통신 성능 차이 비교에 따르면, mmWave 대역을 사용한 통신 환경은 전송속도 및 지연시간 측면에서 sub-6GHz 대비 향상된 성능을 보여준다. 또한, 버스트 트래픽 상황에서 5G Sub-6GHz 사용자의 약 90% 브라우징 속도는 4G 대비 약 9.2배, 약 50%의 경우 약 9배 증가하였으며, mmWave의 경우 90%는 4G 대비 약 24배, 50%의 경우는 약 20배 증가한 결과를 보였다(켈컴코리아, 2020).

다. 스몰셀 기지국 도입

5G에서 사용되는 고주파수 대역 전파는 저주파 대역 대비 상대적으로 전파의 도달 범위가 좁아 4G에 비해 좁은 통신 영역을 지원한다. 또한 5G 전파는 고주파수 대역의 전파 특징으로 인해 건물 또는 장애물에 취약하여 쉽게 차단될 수 있다. 이러한 문제 해결을 위해 5G는 [그림 2-3]과 같이 반경 약 50~500m의 통신 영역을 지원하는 다수의 소형 기지국(small cell, 스몰셀)을 배치하여 도심 지역 내 네트워크 지원과 용량 향상을 목표로 한다. 실내외 환경에서 스몰셀을 밀집하게 구축함으로써 기존 매크로셀의 부하를 분산할 수 있고 모바일 트래픽 증가로 인한 네트워크 용량 문제를 효율적으로 개선할 수 있다.

[그림 2-3] 5G 스몰셀, 매크로셀 통신 환경 예시



자료: López-Pérez et al.(2015), p. 3

라. CUPS(Control Plane & User Plane Separation) 네트워크 구조
 사용자가 밀집되고 다수의 스몰셀이 존재하는 통신 환경일수록 사용자가 한 셀에서 다른 셀로 이동할 때, 진행 중인 통화나 데이터 통신을 다른 셀로 전환하는 과정인 핸드오버가 빈번하게 발생하는 문제가 있다. 이는 사용자가 이동 중에도 지속적인 통신을 가능하게 하지만 핸드오버 발생률이 높을수록 데이터 전송 지연, 패킷 손실 등에 따른 통신 품질 저하가 발생한다.

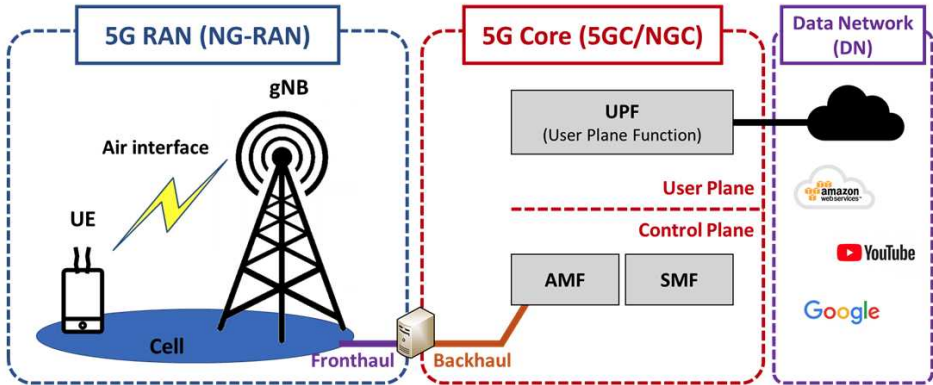
이러한 문제는 단말의 전체적인 제어를 담당하는 제어 평면(Control Plane, CP)과 단말의 데이터 패킷 전송을 관리하는 사용자 평면(User Plane, UP)을 CP & UP 분할 기술(CUPS)로 해결할 수 있다. CUPS는 3GPP의 표준 기술 문서(Technical Specification) 23.214에서 처음 제시된 개념으로 5G 통신의 네트워크 품질 향상을 위한 기본 네트워크 구조로 채택되어 사용되고 있다(3GPP, 2016). 5G는 CUPS 구조를 통해 각 평면마다 트래픽 경로 및 자원을 동적으로 할당하여 더 나은 QoS(Quality of Service)를 제공한다(Al-Falahy and Alani, 2017).

마. 네트워크 분할 기술 도입

4G 네트워크는 단일 네트워크 구조로 설계되어 있어 특별한 요구사항을 가진 서비스를 제공하는데 한계점을 갖는다. 이의 극복을 위해, 5G에서는 하나의 이동통신망을 다수의 독립된 가상 네트워크로 나누는 네트워크 슬라이싱(Network Slicing) 기술을 도입하였다. 5G 통신은 네트워크 슬라이싱을 통하여 다수의 사용자에게 최적의 네트워크 서비스를 제공하며 초저지연이 필요한 자율주행, 초고속 데이터 전송이 요구되는 고화질 스포츠 생중계 등 맞춤형 서비스를 동시에 가능하게 한다(삼성전자, 2023). 네트워크 슬라이싱은 코어망(Core Network)에서의 슬라이싱과 무선 접속망(Radio Access Network, RAN)에서의 슬라이싱으로 구성되어 있다. 코어망에서는 NSSF(Network Slice Selection Function) 기능을 통하여 네트워크를 슬라이싱한다. NSSF 기능은 사용자의 서비스 요청이나 특정 조건에 따라 최적의 슬라이스 인스턴스 세트를 선택하여, 효율적인 네트워크 자원 할당과 관리를 목표로 한다. 또한 코어 네트워크는 AMF(Access and Mobility management Function)로 사용자의 접속 및 이동성을 관리한다. 이를 통해 사용자의 네트워크 접속 시 필요한 접속 권한 등의 절차를 처리하며 사용자가 네트워크 내에서 원활하게 통신할 수 있도록 연속성을 보장하는 것을 목표로 한다. 무선 접속망에서는 사용자의 단말이나 코어 네트워크에서 제공하는 정보를 바탕으로 적절한 네트워크 슬라이스를 선택한다. 이 선택 과정은 단말에서 발생하는 데이터 트래픽의 특성, QoS 요구사항 등을 바탕으로 최적의 네트워크 슬라이스를 선택한다. 또한 무선 접속망은 실시간으로 네트워크의 상태와 트래픽 상황을 모니터링하여 동적으로 슬라이스 자원을 조절하고 할당한다.

2. 5G 이동통신 RAN

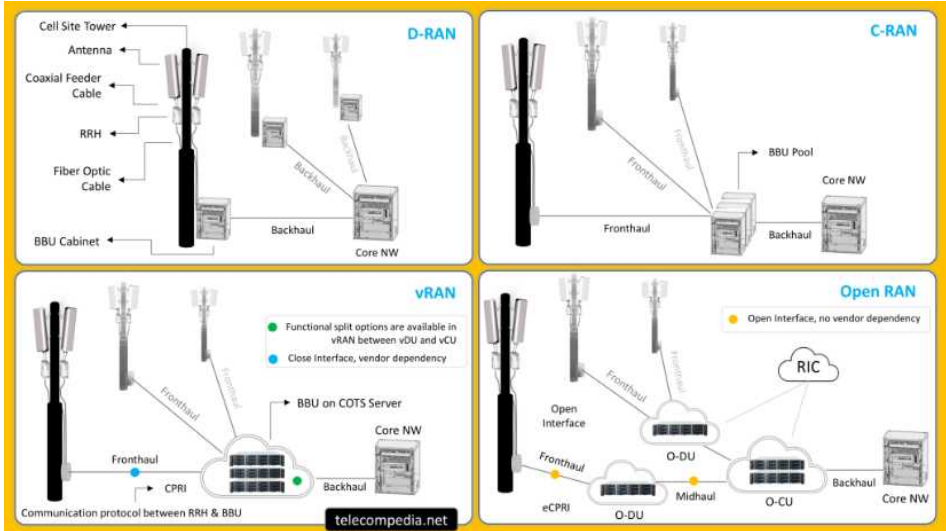
[그림 2-4] 5G 이동통신 네트워크의 구조



자료: Sense Wide (<https://jb-story.tistory.com/346>)

5G 이동통신 네트워크는 [그림 2-4]의 UE와 5G 기지국(gNB)으로 구성된 5G RAN과 데이터 트래픽 및 라우팅을 담당하는 5G Core로 구성된다(3GPP, 2023a). 5G 기지국은 5GC 내 AMF와 연결되어 있다. 5GC의 사용자 평면 기능(User Plane Function, UPF)은 데이터 네트워크(Data Network, DN)와 연결된다. 5G RAN은 UE와 5GC를 연결하는 역할을 하며, 그 구조에 따라 [그림 2-5]와 같이 구분할 수 있다. 4G 이전의 분산형 기지국 형태(Distributed RAN, D-RAN), 4G에서 사용되던 집중형 기지국 형태(Centralized RAN, C-RAN)와 더불어, 5G RAN은 가상형 기지국 형태(Virtualized RAN, vRAN), 개방형 기지국 형태(Open RAN)를 도입하였다(3GPP, 2023a).

[그림 2-5] 5G 이동통신 네트워크 RAN의 운용 방식에 따른 분류



자료: Telecompedia(<https://telecompedia.net/ran/>)

3. 5G 기술의 6G로의 발전 방향

스마트 공장, 스마트 그리드, 원격 로봇 수술과 같은 새로운 버티컬 서비스의 출현은 5G의 전송 속도, 저지연 및 고신뢰성만으로는 만족시키기 어려운 새로운 요구사항을 제시하고 있으며, 이러한 상황을 반영한 6G에 대한 연구가 전 세계적으로 활발하게 진행되고 있다(한국전자통신연구원, 2020). 6G의 주요 구성요소는 기존 5G의 세 가지 요소를 확장 및 고도화한 형태로 초광대역(ultra Broadband, uBB), 초고신뢰-저지연(ultra High Reliability & Low Latency, uHRL), 초정밀 측위(ultra Precision Positioning, uPP), 초공간(ultra 3D Coverage, u3DC), 초연결(ultra Massive Connectivity, uMC), 초절감(ultra Low Energy, uLE)으로 이루어진다(SK텔레콤, 2023).

6G에는 인공지능과 센서 융합 기술이 접목된 통신 기술과 같이 기존 5G의 목표로 제시되었으나 기술적 한계로 도입되지 못한 서비스가 대거 등장할 것으로 기대된다. 다음은 6G 통신에서의 실현 기술을 간략히 소개한다.

가. Sub-THz 무선 전송 및 Tbps급 광통신 기술

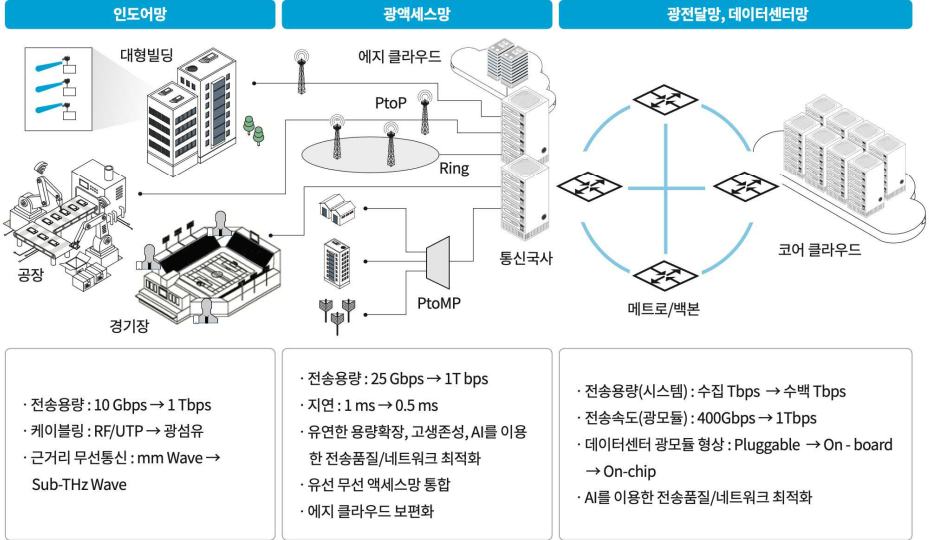
1) Sub-THz 대역

6G에서는 6DOF(six Degrees of Freedom) 기반 XR(Extended Reality) 서비스, 3D 홀로그램, 디지털 트윈 등을 지원하기 위해 Tbps급 전송 속도 제공을 목표로 하며 이를 위해 5G의 사용 대역폭을 뛰어넘는 초광대역 주파수 사용을 필요로 한다. Sub-THz 대역인 114GHz~1THz의 주파수 영역을 6G 후보 대역으로 고려할 수 있는데, 이를 활용하기 위해서는 해당 대역의 전파 전달 특성과 RF 소자 및 부품의 불완전성을 고려한 송수신 방식의 설계가 선행되어야 한다(한국전자통신연구원, 2020). 또한 Sub-THz 대역의 높은 전파 감쇠 및 직진성에 따른 급격한 경로 손실을 극복하고 Tbps급 초고속 데이터를 무선 송수신하는 기술, 채널 Sub-THz 채널 모델 개발 등이 필수적이다(한국전자통신연구원, 2020).

2) 6G 광통신 기술

6G 주요 KPI인 최대 1Tbps급 무선 전송 속도는 유선 구간의 광통신망이 뒷받침되지 못한다면 데이터 전송이 제한될 수 있어 원활한 초광대역 서비스 제공을 위해서는 광통신 또한 1Tbps 이상의 데이터 전송 용량을 지원해야 한다. 하지만 기존 광통신 전송 속도로는 6G 통신에서 발생하는 데이터 트래픽의 급격한 증가를 수용하기 어렵다(한국전자통신연구원, 2020).

[그림 2-6] 6G 광통신 기술 전망



자료: 한국전자통신연구원(2020), p.25

나. 초고신뢰·저지연 네트워크 기술

1) MEC 기술

현재 5G 네트워크는 무선 액세스 구간에서 1ms 지연시간 정도의 초저지연 통신 환경을 목표로 하고 있다. 하지만 트래픽 복잡도, 데이터 통신 경로 간 거리 문제로 인해 무선 네트워크의 속도의 증가가 항상 전체 네트워크 통신 경로의 지연 시간 단축으로 이어지지는 않는다. 이를 해결하기 위해 5G 통신에서는 유선 네트워크 구간의 전송 지연시간을 최소화하기 위해 사용자와 가장 가까운 통신망에 클라우드 기반으로 운용 서버들을 설치하는 MEC 기술이 도입되고 있다(Zhang, 2019). MEC(Multi-access Edge Computing) 기술([그림 2-7] 참조)은 데이터 전송에 따른 시간 지연을 최소화하고, 자율주행, 가상현실, 실감형 미디어 등의 초저지연 기능이 필수적인 서비스를 지원할 수 있도록 한다.

[그림 2-7] 5G MEC 기술의 기본 개념



자료: 이승익 외(2022), p.47

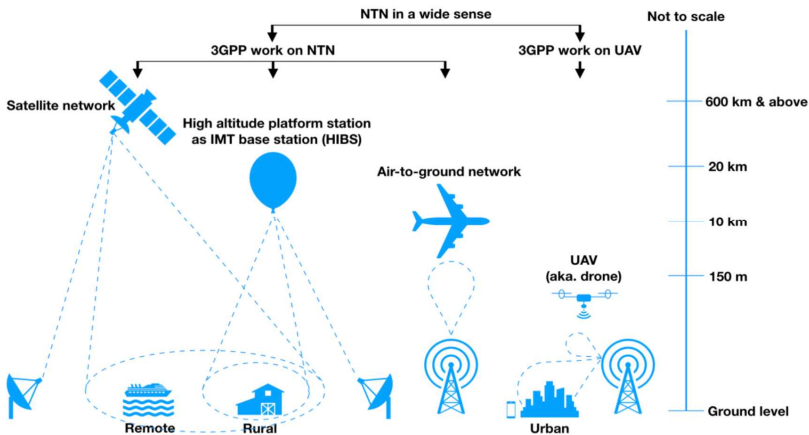
2) 인타임 & 온타임 보장 네트워크 기술

원격수술, 스마트 공장 원격 제어 등 수백 킬로미터 떨어진 위치에서는 서비스들이 요구하는 초저지연 통신을 MEC 기술만으로 실현하기에는 역부족이다. 이를 해결하기 위해 위해서 6G에서는 지연시간을 줄이는 인타임 보장 네트워크 기술과 지연 편차를 최소화하는 온타임 보장 네트워크 기술에 관한 연구가 진행되고 있다. ITU-T(International Telecommunication Union Telecommunication standardization sector)가 제시한 관련 가용 기술로는 시간 민감형 네트워킹(Time Sensitive Networking, TSN), 시간 확정형 네트워킹(Deterministic Networking, DetNet) 등이 있으며, 이를 통해 송신단에서 패킷을 복제 전송하고 수신단에서 중복 패킷을 삭제하여 네트워크 문제가 발생할 시 패킷 손실을 방지할 수 있다. 이러한 기술은 네트워크의 잠재적인 장애나 지연을 극복하여 초저지연 서비스 제공이 가능하게 하며, 현재 서비스 범위를 확대하여 복잡한 광역 네트워크에 적용이 가능한 방향으로 진행하고 있다(SK텔레콤, 2023).

다. 5G 비지상 네트워크 기술

5G는 고립되거나 외진 지역, 항공기 또는 선박과 같은 서비스가 취약한 지역에서 효율적으로 네트워크 서비스를 제공하기 위해 NR 기반 비지상 네트워크 기술(Non-Terrestrial Network, NTN)을 도입하였다. NTN 기술을 통해 5G 통신 단말은 인공위성을 기지국처럼 활용해 통신 환경을 제공받을 수 있다. [그림 2-8]과 같이 NTN 기술은 위성 통신 네트워크, 고고도 플랫폼 시스템(High Altitude Platform Systems, HAPS), 공대지 네트워크(air-to-ground network) 등을 포함한다(Lin et al., 2021).

[그림 2-8] 5G 통신에서의 NTN 네트워크 기술



자료: Lin et al.(2021), p.148

- 위성 통신 네트워크는 저궤도(Low Earth Orbit, LEO) 위성, 중궤도(Medium Earth Orbit, MEO) 위성, 지구 정지궤도(Geostationary Orbit, GEO) 위성을 포함한 우주 플랫폼을 활용한다. NTN 기술은 주로 위성 통신 네트워크에 집중적으로 적용되고 있다.
- HAPS는 비행기, 비행선 등을 포함하는 공중 플랫폼으로, 3GPP NTN에서는 국제 이동통신 기지국인 HIBS(High-altitude IMT Base Stations)를 사용하

여 지상파 모바일 통신 서비스와 동일한 주파수 대역에서 서비스를 제공한다.

- 공대지 네트워크는 지상 모바일 네트워크에서 기지국과 유사한 역할을 하는 지상국을 활용하여 비행기에 기내 통신 서비스를 제공한다. 공대지 네트워크는 위성 기반 통신에 비해 기내 연결 비용이 저렴하다는 장점을 가진다. 현재 비행기 이용객들은 공대지 네트워크 기술을 적용한 기내 Wi-Fi 엔터테인먼트 서비스로부터 기내에서 무선 통신 서비스를 이용할 수 있다.

라. AI(artificial intelligent)-native 네트워크

6G에서는 AI 기술이 핵심 요소 기술로 논의되고 있으며 RAN, core망 및 단말에 AI 기술을 융합한 연구가 진행되고 있다. SKT에서 제시한 [그림 2-9]와 같이 AI-based RAN 기술은 다음과 같이 크게 세 가지로 구분할 수 있다.

1) AI-based RAN

[그림 2-9] AI-based RAN 기술

AI/ML for	Characteristics	Use Cases
RAN Automation (OAM)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data Collection: BS statistics, OAM info for other NW nodes* * unified OAM system is required for E2E optimization 2. AI Training: located in OAM (Online/Offline) 3. AI Inference: located in OAM 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Energy Saving: cell/antenna on/off 2. Cell Shaping: beam shaping for each environments 3. And more
RAN Operation (>L1)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data Collection: local BS, UE measurement*, neighboring BS* * via implementation based or standard Xn interface (for multi-vendor interoperability) 2. AI Training: located in OAM or BS (Online/Offline) 3. AI Inference: located in BS 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Energy Saving: cell/antenna on/off 2. Load Balancing: steering UE among multi-bands 3. Mobility Mgmt.: minimizing call drops 4. Link Adaptation: faster outer loop convergence 5. And more <p>*Rel-18 AI/ML for NG-RAN WI Scope*</p>
Air Interface (L1, PHY)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data Collection: local BS/UE 2. AI Training: OAM/BS (Offline) or BS/UE (Online) 3. AI Inference: located in BS and/or UE 	<ol style="list-style-type: none"> 1. CSI Compression 2. Beam Management 3. Positioning Accuracy Enhancement 4. And more... <p>*Rel-18 AI/ML for Air Interface SI Scope*</p>

자료: SK텔레콤(2023), p.21

- (AI-based RAN automation) 운용, 관리, 유지보수(Operation And Maintenance, OAM) 서버는 기지국 통계 기반으로 AI 학습 및 추론을 동시에 수행한다. 6G는 모든 네트워크 장비의 통계 및 운용 데이터를 통합하여 AI 기반으로 관리/분석할 수 있게 하는 것을 목표로 하고 있어 이를 이용한 자동

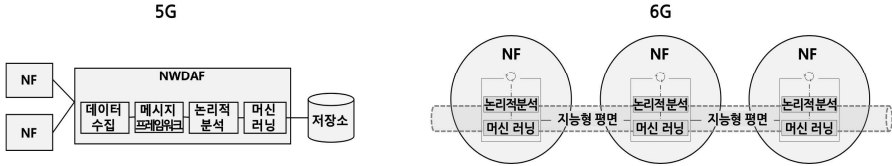
화 기술을 적용하는 추세이다.

- (AI-based RAN operation) 기지국에서 기지국 내부 정보와 단말 및 인접한 기지국이 제공한 정보 등을 처리하여 통신 성능을 향상시키는 기술을 뜻한다. 기지국 외부 서버에서 학습된 AI 모델이 기지국에 탑재되어 실시간 입력 정보에 기반한 추론을 수행하는 방식이 우선적으로 상용화되고 있으며, 확장되고 있다.
- (AI-based air interface) 기지국과 단말 간의 무선 통신을 수행하는 물리 계층에 AI 기술을 적용한 인터페이스를 말한다. 이러한 AI 기술 적용을 위해서는 기지국-단말 간 정해진 절차에 대한 규격의 추가와 변경이 필수적이다. 3GPP는 채널 상태 정보 압축, 측위 정확도 향상 등을 고려하여 Release-18에서 'AI/ML for air interface' 연구 과제를 승인하였으며 이를 Release-19 및 6G에서 구체화할 것으로 예상된다.

2) AI-based core 네트워크

3GPP는 5G core 네트워크에 AI 기반의 5G SA(Stand Alone) 네트워크 자동화 기술을 적용하기 위해 네트워크 데이터를 수집 및 분석하는 NWDAF(Network Data Analytic Function)를 도입하였다(고남석 외, 2021). NWDAF는 데이터 수집, 메시지 프레임워크, 논리적 분석, 머신러닝, 저장소를 담당하는 5가지 구성 요소로 구성된다. 6G에서는 [그림 2-10]과 같이 네트워크 기능마다 NWDAF 서비스를 적용하여 초분산 AI 구조를 구성하고 데이터 수집, 메시지 처리, 저장소 기능 등을 네트워크가 자체적으로 수행할 수 있도록 기술 개발이 진행 중이다(김태연 외, 2020).

[그림 2-10] 5G와 6G의 NWDAF 비교



자료: SK텔레콤(2023), p.23

제 2 절 이동통신 네트워크 산업생태계 현황

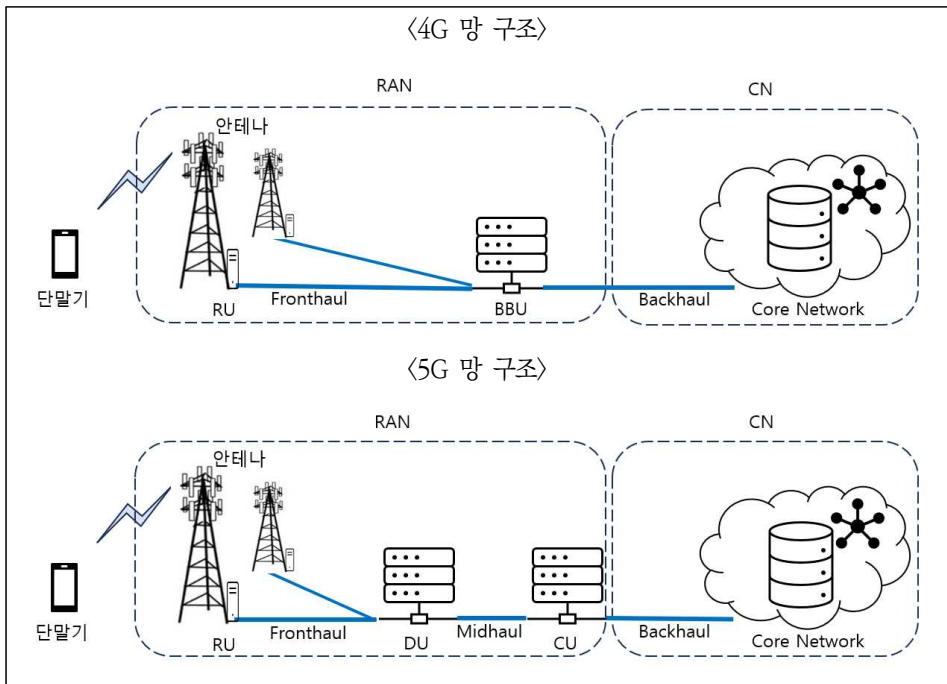
1. 이동통신 네트워크 산업의 범위

이동통신 네트워크 산업은 이동통신 서비스 제공을 위해 네트워크를 구성하는데 소요되는 하드웨어 및 소프트웨어를 제조 및 판매하는 산업으로 정의할 수 있다. 이동통신 네트워크 산업은 단말기를 활용한 이동통신 서비스 이용에 필수 불가결한 인프라 산업임에도 소비자를 대상으로 직접 거래가 이루어지는 것이 아니라 이동통신사업자를 주요 고객으로 하는 산업이다 보니 일반 소비자들이 네트워크 산업의 중요성을 인식하기 어려운 것이 사실이다. 우리나라의 이동통신 산업 중 서비스와 단말기 산업은 필수재에 가까울 정도로 소비자의 인식이 높으며, 특히 단말기 산업의 국제적 위상은 세계 1~2위를 다룰 정도로 높지만, 네트워크 장비 산업은 국내 고유의 생태계를 갖추었음에도 그렇지 못하다.

이동통신 네트워크의 기본 구조는 단말기와 무선으로 연결되는 무선 접속망(Radio Access Network, RAN)과 가입자 관리, 타 망과의 연동 등을 처리하는 코어망(Core Network, CN)이 광케이블로 연결(백홀, Backhaul)된 구조이다. RAN은 ① 단말과 전파를 송수신하는 ‘안테나’ 부분, ② 단말기와 안테나 구간의 이동통신 주파수 대역 신호를 처리하는 ‘RF(Radio Frequency)’ 부분(RU, Radio Unit), ③ 이동통신 주파수 대역으로 변환되기 전의 원래 주파수 대역의 원천 신호를 처리하는 ‘Baseband’ 부분(BBU, Baseband Unit)의 세 가지 영역으로 구

분된다. 3G 이동통신까지 RAN은 RF, Baseband 부분이 하나의 시스템으로 구성되어 안테나가 위치한 곳에 함께 있었으나, 4G에서는 안테나와 RF 부분(RU)만 함께 위치하고 Baseband 부분(BBU)을 따로 분리하여 별도의 장소에서 다수의 RU와 광케이블로 연결(프런트홀, Fronthaul)하였다. 5G의 경우, 4G와 동일한 구조로 구성할 수도 있으며, Baseband 부분을 분산장치(DU, Distributed Unit)와 제어장치(CU, Control Unit)로 분리할 수 있다. 분산장치와 제어장치를 분리하는 경우 두 부분을 연결하는 부분을 미드홀(Midhaul)이라고 한다(여재현, 2023).

[그림 2-11] 이동통신 네트워크 구조



주: * RU: Radio Unit, BBU: Baseband Unit, DU: Distributed Unit, CU: Control Unit or Centralized Unit

자료: 여재현(2023), p.9

이동통신 네트워크 산업은 이동통신 네트워크 구성에 필요한 RAN, 코어망, 백홀 등 유선 전송 관련 하드웨어와 소프트웨어 산업으로 정의할 수 있다. 김종기 외(2022)는 이동통신장비산업을 다음과 같이 정리하고 있다. 보고서에 따르면 “이동통신 네트워크 장비는 단말과 통신네트워크를 연결하는 기지국과 기지국의 신호를 증폭하여 전파 음영지역을 해소하거나 통신 커버리지를 확대하는 중계기, 스몰셀 등으로 구성된다. 기지국은 일반적으로 수 킬로미터의 광대역 커버리지를 지원하며, 중계기는 이동통신서비스가 제공되지 않는 전파 음영 지역에 설치해 기지국과 단말기를 연결하는 장비이다. 스몰셀은 1~수백 미터 정도의 소출력 커버리지를 갖는 소형 기지국으로 사업자에 의해 제어가 가능하며 실내외에 설치 가능한 특징이 있다”(김종기 외, 2022).

김종기 외(2022)는 이동통신장비 산업을 RAN 산업으로만 국한에서 보고 있다. 그러나 이동통신 네트워크 산업은 김종기 외(2022)가 분류한 RAN 산업 외에도 코어망을 관련 산업도 포함해야 한다. 다만 코어망 장비의 산업 비중이 RAN 산업에 비해 매우 작고¹⁾ Core망 산업은 유선통신 사업과 영역이 겹치기 때문에 흔히 RAN 산업만을 이동통신 네트워크 산업으로 간주하기도 한다.

〈표 2-1〉 이동통신장비산업 구성요소(5G 기준)

후방산업		본산업(이동통신장비)	전방 수요산업
부품	RRH, 안테나, 통신반도체, RF필터, 능수동 소자, 광트랜시버, 트랜지스터, 광케이블, 전력증폭기, 케이스 등	기지국(5G용), 중계기(5G용), 스몰셀(5G용)	5G 이동통신 서비스
SW	운영소프트웨어, 보안소프트웨어, 네트워크슬라이싱, MEC(Mobile Edge Computing)		

자료: 김종기 외(2022), p.70

1) OMDIA(2023a) 통계에 따르면 Core 산업 비중은 전체의 6%, RAN은 94%임

2. 이동통신 네트워크 장비 산업 규모

Omdia(2023a)에 따르면 2022년 세계 이동통신 네트워크 장비 시장 매출은 481억 달러로 2021년 497억 달러 대비 3.2% 감소하였다. 기지국에 해당하는 무선 액세스 망(RAN, Radio Access Network)의 매출은 453억 달러로 2021년 대비 3.5%가 감소한 반면, 코어망 매출은 28억 달러로 2021년 대비 1.8% 증가하였다.

〈표 2-2〉 세계 이동통신 네트워크 장비 시장 매출

	Worldwide revenue (\$bn)							
	4Q21	3Q22	4Q22	QoQ	YoY	2021	2022	YoY
Total revenue	13.7	11.6	13.3	14.1%	-3.4%	49.7	48.1	-3.2%
2G/3G	0.2	0.1	0.1	-7.6%	-58.0%	0.9	0.4	-50.2%
LTE E-UTRAN	4.7	3.7	4.2	12.5%	-10.7%	17.7	15.8	-10.9%
EPC	0.5	0.4	0.4	18.4%	-8.3%	1.7	1.6	-6.4%
5G NR	8.0	7.1	8.2	14.4%	2.2%	28.3	29.1	2.7%
5G core	0.4	0.3	0.4	25.9%	6.9%	1.1	1.2	14.7%

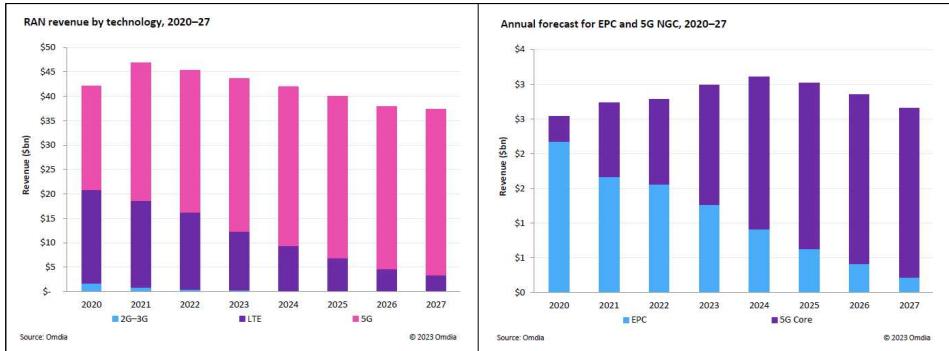
Source: Omdia © 2023 Omdia

자료: Omdia(2023a) p.4

Omdia(2023a)에 따르면 미국과 중국이라는 두 개의 가장 큰 시장의 투자 정점이 지났기 때문에 글로벌 RAN 시장이 2021년을 정점으로 계속 감소할 것이지만, 기업 수요 등의 증가로 2027년에도 370억 달러 이상으로 유지되는 등 높은 수준을 유지할 것이라고 예측하고 있다. 6G 매출은 2029년 또는 2030년부터 나타날 것으로 예상하고 있다. Core 망에 대해서는 5G core 투자가 아직 본격화되지 않고 느린 추세로 남아 있어 2024년까지 성장 후 감소할 것으로 예측하고 있

다. 5G core의 투자가 지연되는 것에 대해서는 클라우드 네이티브 인프라 구현 및 운영에 대한 이동통신사업자의 상용화 지연, 5G SA(Stand-alone) 구현의 지연으로 보고 있다.

[그림 2-12] 기술방식별 RAN 및 core 시장 전망 (2020~2027)

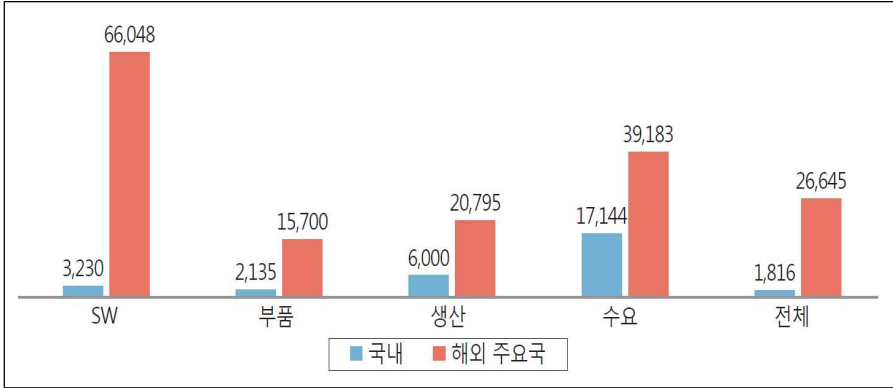


주: (좌) RAN 시장 전망, (우) core 시장 전망
 자료: Omdia(2023a) p.20(좌), p.24(우)

김종기 외(2022)에 따르면 가치사슬 전 단계에서 한국 기업들은 주요국 기업들에 비해 매출 규모가 작으며, 수요 단계인 이동통신서비스 기업들은 주요국 기업과 격차가 비교적 적은 반면, 조달 단계 중 소프트웨어 부문은 평균 매출액 격차가 매우 크다. 또한 평균 영업이익률은 부품(-1.3%)과 생산(-3.9%) 단계의 영업이익률이 가장 낮다. 이에 비해 해외 주요국 기업들은 부품 및 생산 단계의 평균 영업이익률이 각각 9.3%, 13.1% 수준으로 높다. 또한 통신장비 가치사슬 전 단계에서 평균 연구개발비 지출은 국내 기업이 해외 비교 대상국 기업보다 작은 것으로 나타났다. 그러나 매출 규모와 수익성과 비교할 때 R&D 투자 정도는 비교적 양호하다(김종기 외, 2022).

[그림 2-13] 통신장비산업의 가치사슬 단계별 평균 매출(2020년)

(단위: 백만 달러)



자료: 김종기 외(2022), p.74

RAN과 코어망 관련 산업은 대기업(예: 에릭슨, 화웨이, 노키아, 삼성전자 등) 위주로 구성되어 있는 반면, RAN 중 안테나, 중계기 등 RF 전송 부분은 중소기업 위주의 생태계가 이루어져 있다. 그동안 국내 장비 산업의 국제 경쟁력은 에릭슨, 화웨이 등과 경쟁하기 어려웠으나 5G 이동통신의 기술 선도 및 미중 갈등의 확산으로 기지국 장비 등 전체 네트워크 제조업 관점에서 성장 추세에 있으며, 다만 중소기업 중심의 중계기 분야는 4G 이후 네트워크 구조의 변화로 어려움을 겪고 있다(여재현 외, 2022). 5G 이전의 네트워크 산업은 대기업의 기지국 및 코어망 장비 생산이 내수 수요 만족에 그치고 해외 시장 진출은 매우 어려웠으나, 5G 이후 해외 시장 진출이 다소 활발해졌다. 반면 중소기업의 시장은 중계기 및 안테나 등을 중심으로 내수 및 수출 시장이 활발했으나, 5G 이후 네트워크 구조의 변화 및 이동통신사업자의 네트워크 투자 지연으로 내수 및 수출 시장 모두 어려워지고 있다.

제 3 절 국내외 정책 동향

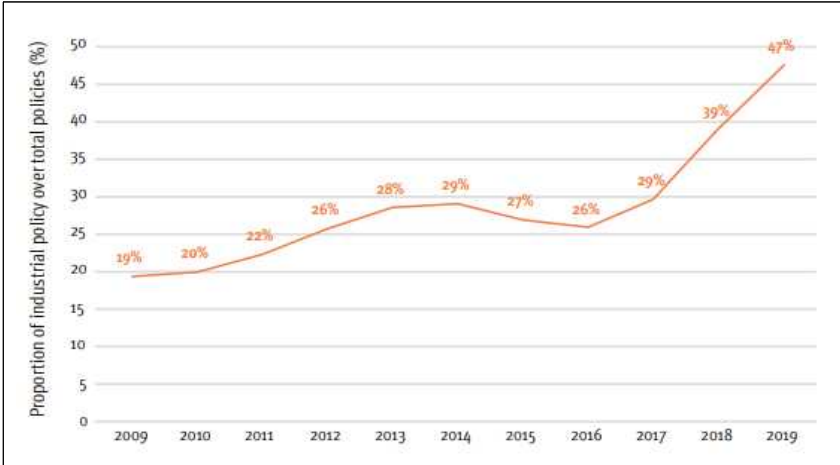
1. 산업정책의 확산

산업정책은 특정 산업의 개발에 대해 정부가 보조금을 지급하는 정책으로 해외 상품에 대한 높은 관세 부과 등 무역 장벽 설치와 함께 이루어진다. 미국의 대공황과 2차 세계대전 등을 거치면서 산업정책이 활발히 시행되었고, 그 이후 점진적으로 감소하다가 1980년대 이후 신자유주의가 부상하면서 산업정책에 대한 무용론이 확산되었다. 특히 정부실패가 시장실패보다 더 심각하다는 인식이 확산되어 탈규제, 민영화, 세계화, 자유화가 정부정책의 핵심기조로 부상하였다.

그러나 미국-중국의 분쟁과 코로나19(COVID-19) 확산 및 극복 과정에서 산업정책이 다시 주목을 받고 있다. 특히 중국의 ‘중국제조 2025’ 기반의 중상주의에 가까운 산업정책에 대해 미국 등 자유주의 국가들도 해당 국가의 정책이 경쟁력을 갖지 못하여 글로벌 시장의 주도권을 상실하였다고 판단함에 따라 산업정책을 확산하고 있는 추세이다.

국제적인 산업정책의 증가 추세는 수치로도 나타나는데, UN 산업개발기구의 보고서(UNIDO, 2023)에 따르면, 2009년부터 2019년 동안 전체 무역정책 중 산업정책의 비중이 2배 이상 증가(19% → 47%)한 것으로 나타났다. 특히 고소득 국가가 저소득 및 중소득 국가보다 평균적으로 5배 이상(95개 vs. 18개)의 산업정책을 시행함에 따라 국가별 격차가 더 심해지는 것으로 나타났다.

[그림 2-14] 전체 무역정책 중 산업정책의 비중



자료: UNIDO(2023), p.3

WEF(World Economic Forum)의 설문 결과²⁾에 따르면 경제 분석 최고 책임자(Chief Economists)의 3/4은 산업정책이 향후 3년간 경제정책에 대한 광범위한 글로벌 접근 방식이 될 것으로 예상하고 있다. 특히 미국의 「인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act, IRA)」, 「반도체와 과학법(CHIPS and Science Act)」 등과 EU의 ‘그린딜 산업 계획(Green Deal Industrial Plan)’, 프랑스의 ‘France 2030³⁾’ 등이 영향을 줄 것으로 예상하고 있다. 또한 응답자는 산업정책의 부활 요인으로 ① 최강대국 간에 전략적 자율성을 확보하고 상대방에 대한 의존도를 낮추려는 과정에서 발생하는 지정학적 긴장의 심화, ② 인프라 개발 및 기후변화 완화를 위해 강력한 공공 부문 참여가 필요하다는 인식, ③ 최근 많은 국가에서 나타난 ‘자유 시장’ 정책 프레임워크의 신뢰성 하락 등으로 답변하였다. 산업정책이 혁신에 긍정적인 영향을 줄지에 대해서는 응답자의 의견이 나누어져 40% 정도는 혁신의 원동력이 될 것이라 응답했지만 비슷한 비율로 동의하지 않

2) WEF(2023).

3) 2021년 10월 12일 프랑스의 미래산업 육성을 위한 5년 300억 유로(약 43조 원) 규모의 투자 계획.

고 있는데 이러한 부정적인 의견은 기술과 산업이 전 세계적으로 각각 병렬로 개발되는 낭비가 발생할 우려가 있다는 입장이다.

이러한 산업정책의 확산 기조는 이동통신 분야에도 나타나고 있으며, 특히 ‘환경 규제’와 ‘Open RAN’ 분야에서 이동통신 네트워크 산업에 영향을 줄 것으로 예상되고 있다.

2. 네트워크 산업 관련 국내 정책

가. K-Network 2030 전략(2023년 2월)

과기정통부는 2023년 2월 ‘K-Network 2030 전략’을 발표하였다. “디지털 심화 시대를 이끌어갈 차세대 네트워크 모범 국가 실현”을 비전으로, 세계 최고 6G 기술력, SW 기반 네트워크 혁신, 네트워크 공급망 강화를 3대 목표로 하고 있다. 추진 전략은 다음과 같다(과기정통부, 2023).

〈표 2-3〉 K-Network 2030 전략의 추진전략

추진 전략	세부 항목
(전략1) 세계 시장을 선도하는 차세대 네트워크 혁신	<ul style="list-style-type: none"> • 6G • 위성통신 경쟁력 확보 • 양자통신시장 선점 • 글로벌 연결성 기여
(전략2) 탄탄하고 안전한 네트워크 기반 강화	<ul style="list-style-type: none"> • 기간망 • 구내망 • 네트워크 저전력화 • 안전성·신뢰성 강화
(전략3) 튼튼하고 경쟁력 있는 산업생태계 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 네트워크 SW • 오픈랜 • 소부장 경쟁력 확보 • 수출 활성화 • 전문인재 양성

자료: 과기정통부(2023) pp.4-7 기반으로 저자 요약

그 이전인 2022년 1월 과기정통부는 ‘차세대 네트워크 발전 전략’ 수립에 착수하기 위한 추진 방향을 발표하였다. 구내부터 백본망, 6세대(6G)·위성·사물인터넷(IoT) 등 네트워크 전반의 기술혁신부터 산업생태계까지 종합적인 미래 비전을 담았다. 과기정통부는 미래 네트워크의 기술적 진화 방향인 개방화·지능화·융합화·공간확장 등에 대응하여, ① 세계를 선도하는 초격차 기술 혁신, ② 견고한 네트워크 기반 강화, ③ 촘촘한 네트워크 접근 환경 조성, ④ 튼튼한 산업생태계 구축, ⑤ 네트워크 기반 서비스 활성화 등을 추진 방향으로 제시하였다(과기정통부 보도자료, 2022. 1. 26).

나. 오픈랜 인터스트리 얼라이언스(ORIA, 2023년 4월)

과기정통부는 2023년 8월 ‘오픈랜 인터스트리 얼라이언스(Open-RAN Industry Alliance)’(2023년 4월 출범)의 운영 방향을 제시하는 ORIA 출범 선포식을 개최하였고, ‘오픈랜 활성화 정책 추진방안’을 발표하였다. 이에 따르면 과기정통부는 전(全) 주기 상용화 지원 기반(인프라)을 구축할 예정이다. 과기정통부는 판교에 구축된 오픈랜 성능 시험장(테스트베드)에 국제 제조사의 장비를 도입하여 국내 기업의 시험·실증 기회를 확대하고, 오픈랜 장비 국제인증체계(K-OTIC)를 구축할 예정이다. 이러한 기반(인프라)을 바탕으로 국내 기업의 오픈랜 장비 상용화와 시장 진출을 지원하고, 국내·외 기업들이 오픈랜 장비의 상호운용성을 검증하는 국제 행사(Plugfest)를 매년 2회 개최할 예정이다(과기정통부 보도자료, 2023. 8. 16).

[그림 2-15] 오픈랜 장비 국제인증체계(K-OTIC) 주요 역할 및 기능



자료: 과기정통부 보도자료(2023. 8. 16), p.1

둘째, 기술·표준 경쟁력 확보이다. 과기정통부는 국내 기업들이 오픈랜 부품·장비·소프트웨어 등 핵심 기술을 확보할 수 있도록 오픈랜 기술 개발(R&D)을 지원할 계획이다. 또한 국내·외 표준 개발을 위한 연구와 미국·영국 등 주요 국가와의 국제공동연구도 적극 추진한다(과기정통부 보도자료, 2023. 8. 16).

[그림 2-16] 오픈랜 기술 단계별 연구개발(R&D) 추진 방향



자료: 과기정통부 보도자료(2023. 8. 16), p.2

마지막으로 민·관 협력 기반 생태계 조성이다. 과기정통부는 민·관 협의체인 ORIA 설립을 통해 오픈랜 기술 개발 및 고도화를 촉진하고, 국내·외 오픈랜 수요 발굴과 확산을 주도하는 구심점을 마련할 계획이다. 이러한 정부 정책과 연계하여 ORIA에서는 정부의 오픈랜 연구개발(R&D) 단계별 이행안(로드맵) 기획·수립에 동참하고, 국내·외 실증사업을 주도하고 상호운용성 검증 행사(Plugfest)를 지원할 계획이다. 또한 오픈랜 장비 국제인증체계 구축 및 오픈랜 국제표준화 과정에 적극 참여할 예정이다(과기정통부 보도자료, 2023. 8. 16).

다. 5G 테스트베드(2021년 6월)

과기정통부는 전 산업영역에 5세대(5G) 서비스 융합·확산을 지원하기 위하여 판교 기업지원허브 내에 5세대(5G) 핵심망(코어망) 시스템을 구축하고 전국 4개 거점지역(판교, 대전, 광주, 대구)에 5세대(5G) 기지국(3.5GHz/28GHz) 및 테스트 시설을 구축하여 지역 거점을 중심으로 5세대(5G) 단말, 장비, 서비스 기술 개발을 지원하고 있다. 또한 중소 제조사의 단말·서비스 개발·시험·검증을 실시하

고 시장 출시 전에 기술지원 및 상담(컨설팅) 등을 통해 보다 완성도 높은 제품을 출시할 수 있도록 지원하고 있다(과기정통부 보도자료, 2021. 6. 10).

라. 6세대(6G) 연구개발(R&D) 실행계획(2021년 6월)

과기정통부는 2021년 6월 ‘6세대(6G) 연구개발(R&D) 실행계획’을 수립하였다. 2021년 5월 한·미 정상회담의 성과 후속으로, 정보통신기획평가원(IITP)과 미 국립과학재단(National Science Foundation, NSF) 간 공동연구협력 업무협약을 체결하고 2021년부터 양국 간 6세대 분야 공동연구를 본격 추진하기로 하였다. 실행계획의 3대 전략 분야는 ① 차세대 핵심 원천 기술 확보, ② 국제표준·특허 선점, ③ 연구·산업 기반 조성이다. 6개 분야 10대 과제는 아래와 같다(과기정통부 보도자료, 2021. 6. 23.).

〈표 2-4〉 6세대(6G) 연구개발(R&D) 6대 분야 10대 과제

구분	초성능	초대역	초공간	초정밀	초지능	초신뢰
중점 분야	최대 1Tbps급 전송속도	100~300GHz 주파수도 활용 (1Tbps급 전송속도 실현)	지원고도를 지상 10km로 확대(저궤도 위성을 통한 플라잉카, 드론 수용 등)	5G 대비 지연시간을 1/10로 단축	네트워크 (NW) 전 구간에 인공지능 적용 (코어망+무선구간)	설계단계부터 보안기술 내재화 (Embedded)
전략 과제	Tbps 무선통신 Tbps 광통신	3. THz RF 부품 4. THz 주파수모델	5. 공간 이동통신 6. 공간 위성통신	7. 종단간 초정밀 네트워크	8. 지능형 무선 액세스 9. 지능형 네트워크	10. 6G 품질상시 보장·보안 기술

자료: 과기정통부 보도자료(2021. 6. 23.), p.3

시기별로는 2021년 기술요구사항 정립, 2022년 요소기술 설계·구현, 2023년 요소기술 고도화(기술 간 연계/테스트), 2024년 핵심기술 간 연계/테스트, 2025년 핵심기술 안정화/최적화를 목표로 하고 있다(과기정통부 보도자료, 2021. 6. 23).

2022년 8월 과기정통부는 ‘차세대 네트워크(6G) 산업 기술개발(R&D)’ 기획(안)에 대해 공청회를 개최하였다. 사업기간은 2024년부터 2030년까지 7년으로 계획하였고, 예비타당성 사업은 ① 차세대 네트워크(6G) 무선통신, ② 차세대 네트워크(6G) 무선통신 부품, ③ 차세대 네트워크(6G) 모바일 코어 네트워크, ④ 차세대 네트워크(6G) 유선 네트워크, ⑤ 차세대 네트워크(6G) 시스템, ⑥ 차세대 네트워크(6G) 기반 조성, 6개 분야에 대해 중점적으로 기획되었다(과기정통부 보도자료, 2022. 8. 24).

마. 5G 포럼 및 6G 포럼

과기정통부는 2023년 5월 5세대(5G) 포럼이 창립 10주년을 맞아 6세대(6G) 토론회(포럼)로 새롭게 출범했다고 밝혔다. 6G 포럼은 “이종산업과의 융합, 차세대 통신(B5G/6G) 글로벌 경쟁력 확보 지원”을 비전으로 하고 있다. 또한 이종산업 융합, B5G/6G 혁신을 목표로 하고 있다. 핵심 목표는 다음과 같다(과기정통부 보도자료, 2023. 5. 30).

〈표 2-5〉 6G 포럼 핵심 목표

핵심 목표	핵심 프로젝트 및 액션 아이템
이종산업 융합촉진	이종산업단체가 함께 참여하는 성장형 생태계 기반 마련 민간 주도의 수요자 맞춤형 융합서비스 발굴
차세대 통신 준비	글로벌 5G·6G 협력을 강화하여 국제 표준화 선도 산·학·연·관 협력체계 강화 생태계 조성
노하우 축적	통신 세대 발전 경험과 노하우 공유 및 축적

자료: 과기정통부 보도자료(2023. 5. 30), p.6

제 3 장 환경규제·지속가능성과 이동통신 네트워크 산업

이동통신 네트워크 산업은 아래의 세 가지 측면에서 향후 환경적 측면에 관심을 가질 수 있다. 첫째, 에너지 소비로 인한 OPEX(운용비용) 증가이다. 진화된 이동통신 기술은 더 에너지 효율적이거나, 더 높은 수준의 서비스를 제공하기 위해 더 많은 트래픽을 감당하고 더 많은 무선국을 설치해야 할 수 있다. 또한 지정학적 요소나 친환경 규제로 인해 에너지 비용이 단기적·장기적으로 상승할 수도 있다.

둘째, 온실가스 배출과 관련된 규제 강화이다. 이산화탄소 등 지구온난화를 유발하는 온실가스 저감을 위해 국제 사회는 온실가스 배출과 관련된 규제를 강화하고 있다. 한국은 2020년 ‘2050 탄소중립 추진 전략’을 발표한 바 있으며, 2015년부터 온실가스 배출권 거래제를 운영하고 있고, 온실가스 배출권의 유상할당을 점진적으로 늘려가고 있다. 유럽은 2019년 유럽 그린딜을 발표하고, 이후 탄소중립산업법(NZIA), 탄소국경조정(CBAM) 등 세부적인 실천전략을 추진하고 있다.

셋째, ESG(Environmental, Social, and Governance)와 관련된 사회적 요구이다. 기업의 사회적 요구와 역할이 커지면서 ESG 경영은 투자 측면에서도 점차 중요한 지표로 여겨지고 있다. 이를 위해 이동통신 업계에서는 지속가능보고서를 발간하고, 신재생에너지 사용 비율을 늘리고 장애인·아동 등 사회적 약자를 위한 사회공헌 사업을 하는 등 다양한 노력을 기울이고 있다.

이동통신 산업은 철강, 수송 등 산업에 비해 에너지 소비 및 온실가스 배출이 크지 않아 이동통신 산업에 초점을 맞춘 규제는 아직 별로 눈에 띄지 않으나, 전체적인 환경규제 강화에 따라 이동통신 산업도 장기적으로 영향을 받을 수 있다. 따라서 정책 동향은 이동통신 산업에 특화되기보다는 다소 포괄적인 내용을 많이 기술하였다. 한편 재생에너지를 활용하는 것도 온실가스 배출을 감소시키기 위한 노력의 일부이나, 이동통신 네트워크 장비산업과 관련이 있는 부분은 주로 네트워

크 에너지 효율이라 볼 수 있어 기술 및 산업 동향은 이러한 부분에 초점을 맞추어 기술하였다.

제 1 절 정책 동향

이동통신 네트워크 장비는 결국 이동통신사에 의해 소비되므로, 환경 규제는 이동통신사를 통해 장비제조사에 영향을 끼치게 된다. 따라서 이동통신사 입장을 고려하여 이동통신 산업에 영향을 미칠 만한 환경 규제를 살펴보기로 한다. 원자재, 기기의 재활용 등 특정한 분야에 영향을 미치는 규제도 있지만 거시적으로는 온실가스 배출규제가 국제적으로 가장 주요한 방향으로 보인다. 또한 이동통신 또는 ICT 섹터는 철강, 자동차와 같이 섹터를 특정하는 환경 규제가 아직 별로 없어 대부분 전체적인 규제의 영향을 받는 수준일 것으로 예상된다. 따라서 정책 동향은 온실가스 배출규제를 중심으로, 이동통신 산업에 특화되기보다는 다소 포괄적인 내용을 기술하였다.

GHG Protocol(2004)에 따르면 온실가스(Greenhouse Gas) 배출은 범위(Scope)에 따라 세 가지로 구분할 수 있다. 범위1(Scope 1)은 직접적인 온실가스 배출로, 사업자가 직접적으로 소유하고 통제하는 배출원에서 발생한다. 예를 들어, 기업소유 혹은 통제하에 있는 보일러, 난로, 자동차 등의 연소로 인한 배출, 기업 소유 혹은 통제하에 있는 설비시설의 화학적 생산활동으로 인한 배출 등을 들 수 있다. 범위2(Scope 2)는 전력 사용으로 인한 간접적인 온실가스 배출이다. 사업자가 소비하는 구입전력으로 인해 발생하는 온실가스 배출을 포함한다. 범위3(Scope 3)은 기타 간접적인 온실가스 배출이다. 사업자 활동의 결과이지만 사업자가 직접 소유하거나 통제하지 않는 배출원으로부터 발생하는 온실가스의 배출을 일컫는다(GHG Protocol, 2004).

GSMA(2023)에 따르면 이동통신사의 온실가스 배출은 아래와 같이 정리될 수 있다. 발전소가 생산한 전기를 구매하여 기지국 운영을 하므로 범위2의 온실가스

배출이 많은 부분을 차지하게 된다.

〈표 3-1〉 온실가스 배출의 구분

	정의	이동통신사의 경우
범위1 (Scope 1)	사업자의 직접적인 온실가스 배출	네트워크 유지보수를 위한 차량 운행, 전력이 없는 지역의 기지국에서 직접 연료를 사용
범위2 (Scope 2)	사업자가 이용한 전기·에너지 발생과 관련된 간접적인 온실가스 배출	발전소가 생산한 전기를 구매하여 기지국 운영(장비의 전력 및 냉방)
범위3 (Scope 3)	사업자의 상류·하류 가치사슬에서 발생하는 온실가스 배출	제조사의 네트워크 장비 제조 및 운송, 이동통신 가입자의 단말 및 전기 소비 등

자료: GSMA(2023), p.20

한편 장비제조사 입장에서 자신의 장비를 구매한 이동통신사가 네트워크를 운용하며 사용하는 전기로 인해 발생하는 온실가스는 범위3에 속하게 된다. 노키아의 보고서(Nokia, 2023)는 자사의 전체 가치사슬 온실가스 배출 중 91%가 범위3이라고 추정하기도 하였다. 이동통신기술로 인해 타 섹터에서 탄소배출이 감소하는 효과도 있겠으나 이번 연구에서는 이러한 부분은 논의하지 않기로 한다. 한편 이동통신사가 클라우드사로 작업 로드를 분산할 경우, 이동통신사 기준에서 범위2 배출이 감소하고 상대적으로 규제를 덜 받는 범위3이 늘어난다는 이야기도 있다(GSMA, 2023).

이동통신사는 대부분 발전소에서 생산한 전력을 구매하여 사용하므로 범위2에서 온실가스가 발생한다. 환경규제는 네트워크 장비업체에는 다음과 같은 경로로 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상된다.

- 친환경 에너지로의 전환에 따라 전력 단가가 상승하고, 이로 인해 이동통신사가 에너지 효율적인 네트워크 인프라를 구축하고자 함
- 이동통신사가 자신의 온실가스 배출량을 줄이기 위해 에너지 효율적인 네트워크 인프라를 구축하고자 함

- 네트워크 장비업체가 환경 규제에 직접적인 영향을 받아 추가적인 인증을 필요로 하거나 환경규제에 맞는 장비를 개발하고자 함(에너지 효율성, 재활용 가능한 설계, 핵심물자 통제 등)

이동통신 산업에 영향을 미칠 만한 국가·지역별 환경규제를 살펴보면 다음과 같다.

1. 한국

우리나라는 2021년 10월에 ‘2050 탄소중립 시나리오안’을 발표하였다. 탄소중립 시나리오안은 목표시점의 총배출량을 0으로 하는 2개 시나리오로 구성되어 있으며, 이는 화력발전 전면 중단 등 배출 자체를 최대한 줄이는 A안과 화력발전이 잔존하는 대신 CCUS 등 제거기술을 적극 활용하는 B안이다(관계부처 합동, 2021). 시나리오안은 크게 배출 부문과 흡수 및 제거 부문으로 구분되는데, 이 중 배출은 전환, 산업, 건물, 수송, 농축수산, 폐기물, 수소, 탈루로 구분되어 있으며, 흡수 및 제거는 흡수원, 이산화탄소 포집 및 활용·저장(CCUS), 직접공기포집(DAC)으로 구분되어 있다(관계부처 합동, 2021).

시나리오안에 제시되고 있는 탄소비용을 발전원가와 전기요금에 반영, 탄소중립 핵심 분야 소재, 부품, 장비 등 산업생태계 육성·지원, 저탄소 산업구조로의 대전환을 위한 기술개발 및 시설개선 투자 추진, 배출권거래제, 녹색금융 등 시장주도의 온실가스 감축 노력 유도(관계부처 합동, 2021) 등은 이동통신 산업까지 공통적으로 영향을 미칠 것으로 예상된다. 또한 시나리오는 배출권 거래제의 총배출허용량을 엄격하게 관리하는 등의 방향을 제시하고 있는데, 이러한 방향으로 추진될 경우 이동통신사도 탄소배출량에 대한 압력을 차츰 더 느끼게 될 것으로 예상된다. 재생에너지로의 전환 과정에서 전기 가격이 비싸진다면 이동통신사의 운영비용이 증가할 것이다. 한편 이동통신 장비산업에서도 에너지 효율 개선을 위한 핵심기술로 인정받을 경우, R&D 지원을 받을 가능성이 있다.

2021년 3월에는 ‘탄소중립 기술혁신 추진전략’이 발표되었는데, 이것의 주요 내용으로는 1) 탄소중립 기술혁신 10대 핵심기술 개발 전략 제시, 2) 범부처 탄소

중립 기술혁신 R&D 사업 기획·착수, 3) 신산업 창출로 이어지는 집중지원 체계 마련, 4) 민간이 주체가 되는 저탄소화 기술혁신 촉진, 기술혁신이 지속되는 연구 역량·기반 강화(과학기술관계장관회의, 2021)가 담겨 있다. 세부적으로는 탄소중립에 핵심적 기여가 가능한 10대 핵심기술로 ① 태양광 및 풍력, ② 수소, ③ 바이오에너지, ④ 철강·시멘트, ⑤ 석유화학, ⑥ 산업공정 고도화, ⑦ 수송 효율, ⑧ 건물 효율, ⑨ 디지털화, ⑩ CCUS를 언급(과학기술관계장관회의, 2021)하고 있다. 이동통신 분야와 관계가 있는 것은 ⑨ 디지털화인데 ICT 디바이스·인프라 고효율화가 포함되어 있고, 목표로는 2030년까지 데이터 센터 전력 20% 감축(과학기술관계장관회의, 2021)을 제시하고 있다. 전 부문 디지털화를 통한 에너지 효율 혁신은 ICT 활용과 ICT 자체로 구분된다. 이 중 ICT 자체는 데이터센터, 유무선망, ICT 기기의 효율 극대화를 언급하고 있다. 데이터센터에는 센서·인공지능 활용한 냉난방 최적화, 데이터 처리량에 따라 자동 조정하는 서버·네트워크 장비 개발 등이 포함되어 있다. 또한 유무선 네트워크에는 접속자 수 및 트래픽에 따른 동적 신호 출력 조정, 실리콘 대비 출력이 높은 질화갈륨(GaN) 소자 확대 적용 등이 포함된다. 부품·제품에는 초저전력 센서, 프로세서와 메모리를 통합하는 PIM(Processing-In-Memory) 반도체 개발, 지능형 사물인터넷(AIoT) 및 생활에너지를 전력으로 변환하는 에너지 하베스팅 기술개발 등이 포함된다. 마지막으로 에너지-ICT 기술을 접목한 혁신기업 육성이 있다(과학기술관계장관회의, 2021).

국내에서 시행되는 주요 환경규제에는 ‘온실가스 배출권거래제’가 있다. 온실가스 배출권거래제는 정부가 온실가스를 많이 배출하는 기업에 배출권(배출허용 총량)을 할당하고, 배출량에 따라 배출권이 남는 기업과 부족한 업체 간 거래를 자유롭게 허용하는 제도로 한국은 2012년 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」을 제정하여 배출권거래제에 대한 법적 기반을 마련하고, 시범사업을 거쳐 2015년 1월부터 제1차 계획기간(2015~2017) 배출권거래제를 본격적으로 실시하였다(2050 탄소중립위원회, 2021). 정부는 배출권의 총량을 정한 뒤 배출권을 배분하여 배출권 시장에 공급하는데, 돈을 받고 유상으로 판매하는 유상할당과 무

상으로 배분하는 무상할당 방식이 있다. 제2차 계획기간(2018~2020)에는 일부 업종에 대한 유상할당을 시작하고, 기업의 과거 배출량 기준이 아닌 배출효율 기준 할당방식(Bench Mark, BM)을 도입하였다. 제3차 계획기간(2021~2025)에는 유상할당 비율을 10%로 상향하고 BM 적용대상을 7개 업종에서 12개 업종으로 확대하였다(2050 탄소중립위원회, 2021). 제2차 계획기간무상 할당 대상 업종 기준은 ① 무역집약도 30% 이상, ② 생산비용발생도 30% 이상, ③ 무역집약도 10% 이상, 생산비용발생도 5% 이상이었으며, 제3차 계획기간 무상할당대상 업종 기준은 비용발생도와 무역집약도를 곱한 값이 0.002(0.2%) 이상인 업종에 속하는 업체이다(Shin & Kim, 2020).

〈표 3-2〉 제3차 계획기간 전부 무상할당 업종 구분

부문	업종	KSIC 코드	무역 집약도 (A, %)	비용 발생도 (B, %)	A×B (%)	전부 무상 여부
산업	전자 부품 제조업	262	68.36	0.71	0.485	○
	전기 통신업	612	-	0.48	-	
	컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업	620	-	0.06	-	
	자료 처리, 호스팅, 포털 및 기타 인터넷 정보 매개 서비스업	631	-	0.04	-	

자료: 환경부(2020), “온실가스 배출권거래제 제3차 계획기간(2021~2025년) 국가 배출권 할당계획(안)”, p.13 중 일부

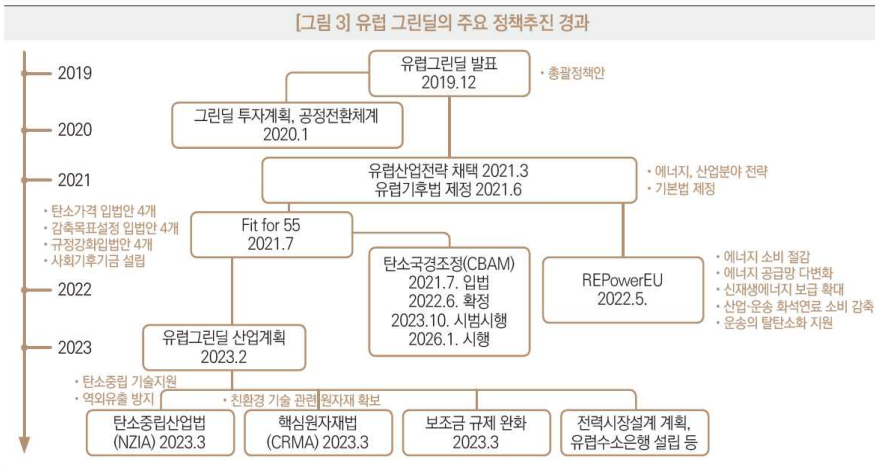
제3차 계획의 대상 부문·업종 분류에 따르면 산업 부문에서 전기 통신업(KSIC 코드 612)이 이동통신사에 해당하는 것으로 파악되며, 그 외 전자 부품 제조업(KSIC 코드 262), 컴퓨터 프로그래밍, 시스템 통합 및 관리업(620), 자료 처리, 호스팅, 포털 및 기타 인터넷 정보 매개 서비스업(631)이 관련 있는 업종으로 볼 수 있다. 이 중 전자 부품 제조업은 전부무상할당 업종에 해당하나, 전기 통신업

등은 전부무상할당 업종이 아니다. 따라서 이동통신사는 점차 증가하는 유상할당 부분에 대한 비용 부담을 느낄 것으로 예상된다.

2. 유럽

김윤희(2023)는 유럽 그린딜과 관련된 개별 정책들의 관계를 다음과 같이 정리하고 있다. 유럽 그린딜(European Green Deal)은 가장 상위의 정책으로 2019년 발표되었으며, 그를 따라 유럽산업전략과 유럽기후법 등이 2021년 채택 및 제정되었다. Fit for 55는 세부적인 실천전략으로 제시되었고, 이 중 하나로 탄소국경조정(CBAM)이 2023년부터 시범 시행된다.

[그림 3-1] 유럽 그린딜의 주요 정책추진 경과



자료: EU 집행위원회 자료를 바탕으로 국회예산정책처 작성

자료: 김윤희(2023) p.65

2023년 현재까지 세부 규제들이 빠른 속도로 현실화되고 있는데, 이는 한국무역협회(2023)의 요약을 참고할 수 있다. 이번 보고서에서는 이동통신 분야와 관련된 분야가 있을 수 있는 유럽 그린딜, Fit for 55, 탄소국경조정을 중심으로 살펴본다.

〈표 3-3〉 유럽 환경규제 분야별 추진 상황

구분	세부 정책
기후변화	<ul style="list-style-type: none"> • ('20.3) 유럽기후법(안) • ('20.7) 에너지 통합 전략 • ('20.7) 수소 전략 • ('20.9) 2030년 온실가스 감축목표 상향(55%) 제안 • ('20.10) 지속가능 화학 전략 • ('20.10) 메탄 배출 저감 전략 • ('20.11) 연안 재생에너지 전략 • ('21.2) 新기후변화 적응 전략 • ('21.7) 新산림전략 • ('21.7) 2030년 온실가스 감축목표 달성을 위한 관련 법령(배출권거래제 지킴, 재생에너지지킴 등) 개정안 마련 • ('21.7) 탄소국경조정제도 제안
순환경제	<ul style="list-style-type: none"> • ('20.3) 新순환경제 행동계획 • ('20.3) 新산업전략 • ('20.5) 농장에서 포크까지 • ('20.12) 배터리 규정 제안 • ('21.3) 新산업전략 패키지
화학/기타	<ul style="list-style-type: none"> • ('20.3) 유럽 그린딜 투자계획 • ('20.1) 공정전환 메커니즘 • ('20.5) 2030 생물다양성 전략 • ('20.10) 지속가능 화학 전략 • ('20.12) 지속가능한 스마트 운송전략 • ('21.5) 물·공기·토양 제로오염 행동계획

자료: 한국무역협회(2023), p.2

EU 집행위원회는 2019년 12월 ‘유럽 그린딜(European Green Deal)’을 발표했다. 그린딜은 2050년 기후중립 목표 달성을 위해 사회 전 분야를 전환하기 위한 정책 패키지이다. 주요 내용은 다음과 같다(김수현·김창훈, 2020).

〈표 3-4〉 유럽 그린딜의 주요 내용

분야	내용
온실가스	2050년 기후중립 달성 및 2030년 온실가스 배출저감 목표 강화 (Increasing the EU's climate ambition for 2030 and 2050)
에너지	청정에너지, 적정가격에 안정적으로 공급 (Supplying clean, affordable and secure energy)
산업	청정·순환경제로의 산업 전환 (Mobilising industry for a clean and circular economy)
건물	에너지 효율적인 건물의 건축 및 리모델링 (Building and rennovating in an energy and resource efficient way)
교통	지속가능하고 스마트한 교통체계 구축 (Accelerating the shift to sustainable and smart mobility)
식품	농장에서 식탁까지-공정하고 건강하고 친환경적인 식품체계 구축 (From 'Farm to Fork': a fair, healthy and environmentally friendly food system)
생태계	생태계와 생물다양성 보호 (Preserving and restoring ecosystems and biodiversity)
오염	유해물질과 오염 없는 환경 조성 (A zero pollution ambition for a toxic-free environment)

자료: European Commission(2019), 김수현·김창훈(2020) p.8 재인용

이어지는 2021년 7월 EU 집행위원회는 2030년까지 탄소배출량을 1990년 수준 대비 55% 감축하기 위한 입법안 패키지인 'Fit for 55'를 발표하였는데 이는 유럽 그린딜의 2050년 탄소중립 목표 달성을 위한 정책 수단으로 제시되었으며, 입법안의 주요 내용은 다음과 같다(장영욱·오태현, 2021).

〈표 3-5〉 Fit for 55 주요 내용

주요 내용	설명
가격 결정	1) 항공 분야 배출권거래제 강화 2) 해운, 육상운송 및 건축물 분야 배출권거래제 신설 3) 에너지조세지침 개정 4) 탄소국경조정제도 도입
목표 설정	5) 노력분담규정 개정 6) 토지이용, 토지이용변화 및 삼림 규정 개정 7) 재생에너지지침 개정 8) 에너지효율지침 개정
규정 강화	9) 승용차 및 승합차 탄소배출 규제 기준 강화 10) 대체연료인프라규정 개정 11) 항공운송 연료 기준 마련 12) 해상운송 연료 기준 마련
지원 대책	13) 사후기후기금(Social Climate Fund) 신설

자료: European Commission(2021), 장영욱·오택현(2021) p.3 재인용

- (배출권거래제) 기존에 철강, 전기, 시멘트 등을 대상으로 하고 있던 온실가스 배출권거래제(Emissions Trading Scheme, ETS) 적용 대상을 확대하고 기준을 강화(장영욱·오택현, 2021)
- (에너지조세지침 개정) 에너지 함량에 따라 에너지 제품 세율이 결정되도록 하여 청정기술 사용을 장려(장영욱·오택현, 2021)
- (탄소국경조정제도 도입, Carbon Border Adjustment Mechanism) EU 역외로의 탄소누출(carbon leakage)을 최소화하기 위해 온실가스 감축 노력이 미흡한 국가에서 수입되는 제품에 대해 EU ETS와 연계하여 비용을 부담시킴 (장영욱·오택현, 2021)
- (노력분담규정 강화) 건물, 운송, 농업, 폐기물은 현재 온실가스 배출의 약 60%를 차지하나 ETS의 적용대상에 포함되지 않음. 이렇게 EU ETS 적용 분야 이외의 온실가스 배출 감축을 위한 회원국별 대응방안을 정해놓은 노력분담규정(Effort Sharing Regulation, ESR)이 있는데, 이번 개정안은 적용 분

야에서 온실가스 배출량을 2030년까지 2005년 수준 대비 40% 감축한다는 목표(기존 목표는 29% 감축)를 제시(장영욱·오탈현, 2021)

- (재생에너지지침 개정) 2030년까지 재생에너지원 사용 비중 목표를 기존 32%에서 40%로 확대하는 방안(장영욱·오탈현, 2021)
- (에너지효율지침 개정) 2030년 에너지 사용량 절감 목표를 기존 예측치 대비 32.5%에서 36~39%로 상향하고, 모든 회원국에 매년 1.5% 에너지 절감 의무를 부여하는 방안. 정책 및 투자 결성 시 ‘에너지효율 제일 원칙(Energy Efficiency First Principle)’ 적용(장영욱·오탈현, 2021)

위와 같이 전 산업 분야에서 에너지 효율을 촉진하고 탄소배출 규제를 강화하는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 유럽의 이동통신사에 제품을 공급하는 국내 장비 제조사는 고객으로부터 에너지 효율을 높여달라는 기술적 요구를 받을 수 있다. 유럽에 제품을 수출하려는 국내 장비제조사는 제조 과정에서 발생한 탄소배출에 대한 비용을 지불해야 할 수 있으며, 비용보다는 탄소배출량을 입증하기 위한 인증 및 서류작업이 부담이 될 수도 있다.

이 중 탄소국경조정제도(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)⁴⁾에 대해 더 자세히 알아보면 다음과 같다. CBAM은 EU가 기후 목표를 상향 조정해 나감에 따라 환경 규제가 약한 역외로 탄소누출(carbon leakage)이 발생할 가능성을 줄이기 위한 제도이다. 이 법안은 EU 수입업자에게 수입상품에 대한 정보를 제공하도록 의무를 부과하고, 해당 상품에 내재된 탄소배출량만큼 ‘CBAM 인증서(CBAM certificate)’를 매입·제출하도록 의무를 부과한다. 수출기업이 적정한 배출량 자료를 제출하지 못하는 경우는 EU 역내 시설 중 배출 효율이 가장 낮은 하위 10% 시설을 기준으로 한 배출 기본값이 적용되기 때문에 불리하다. 제출해야 하는 인증서의 수는 원산지국에서 기 지불된 탄소가격을 차감하여 산정된다. 일차적으로는 철강, 알루미늄, 비료, 시멘트, 전기에 적용되며, 생산공정 동안

4) EU Commission(2021b)

배출된 직접배출에만 적용되며, 상품생산에 필요한 전기를 생산하는 데 발생한 배출 등 간접배출은 규율범위에 포함하지 않는다(이천기 외, 2021). 유럽에는 그 외에 공급망 실사 지침(Corporate Sustainability Due Diligence, CSDD), 기업 지속가능성 공시 지침(CSRD), 에코디자인 규정(ESRP), 신 배터리 규정 등이 추진되고 있다.

프랑스 Arcep에서는 2023년 10월 “디지털 서비스의 친환경적 설계를 위한 일반 프레임워크” 보고서를 통해 공개 의견수렴을 개시하였다. 이 정책은 디지털 장치와 서비스의 친환경적 설계를 통해 디지털 기술이 환경에 미치는 영향력을 줄이고자 한다. 프레임워크의 대상은 장비(서버 등), 인프라(네트워크 등), 하드웨어 위에 설치되어 서로 호출하는 소프트웨어들, third-party 디지털 서비스 등을 모두 포함한다(Arcep, 2023).

- (단말의 수명 연장을 위한 보다 지속가능한 디지털 서비스 설계) 단말 제조는 디지털이 환경에 미치는 영향의 65~90%에 해당하는 것으로 추정됨. 서비스가 구형 단말에서 가동되도록 하고, 최대한 다양한 단말에서 서비스가 사용 가능하도록 하며(터치 인터페이스, 물리적 키보드 등), IoT 등을 위해서는 오픈 소스를 사용하고, 단말의 수명에 걸쳐 필수적인 업데이트를 제공할 것 등이 포함됨(Arcep, 2023)
- (사용자의 관심을 끌기 위한 전략에 환경 친화적인 접근 방식 장려) 관심 경제(l'économie de l'attention)의 부정적인 영향을 제한하기 위한 기준 포함. '넋지' 기능의 제한(비디오 콘텐츠 자동실행 등), '데이터 절약' 버튼 등 사용자가 자신의 사용을 제어할 수 있는 기능, 광고 프로파일링 목적의 데이터 및 메타데이터 수집 제한(Arcep, 2023)
- (동원되는 IT 자원을 줄이고, 데이터 트래픽과 디지털 인프라에 대한 수요를 최적화) 대상 사용자와 실제 요구사항에 대한 체계적인 질문을 통해 사용 리소스 제한, 압축 기술을 통해 멀티미디어 콘텐츠의 부하를 줄임, 서버로 전송

되는 요청 수 제한, 비동기식 연산을 위한 자원을 최소화하고 에너지 혼합의 탄소 영향을 고려하여 수행 시점을 조정, 탄소 에너지 집약적인 기술 구성요소(블록체인 채굴, 인공지능의 기계학습 등)의 환경 발자국 감소 등(Arcep, 2023)

- (디지털 서비스의 환경 영향에 대한 투명성 수준 향상) 디지털 서비스의 환경 영향 데이터를 공개하여 데이터 기반한 규제가 가능하도록 함. 디지털 서비스의 환경 발자국 평가를 제공(온실가스 배출, 에너지 소비, 불/광물 자원 소비 등), 주요 환경 지표(전력 효율성, 물 이용 효율성 등)를 투명한 방법론으로 계산(Arcep, 2023)

프랑스에는 현재 디지털과 관련된 환경 규제로 AGEC 법(Anti-Gaspillage pour une Économie Circulaire, 순환경제를 위한 폐기물 방지)과 REEN 법(Réduction de l'Empreinte Environnementale du Numérique, 디지털 환경 발자국 줄이기) 등이 있으며, 2022년 출범한 HCNE(Le Haut Comité pour le numérique écoresponsable, 환경 책임 디지털 기술 고등위원회)가 디지털 기술의 환경적인 전략을 맡고 있다. 2021년 2월 디지털과 환경(numérique et environnement) 로드맵이 발표되었으며, 향후 2024년에 REEN 법은 웹사이트들의 지속가능한 설계를 요구할 것이며, 2025년 일정 규모 이상의 지방정부들은 '책임 있는 디지털 전략'을 발표해야 한다(Greenspector, 2023).

한편 프랑스의 모바일 네트워크 기술전문가 위원회⁵⁾는 2023년 10월 “2G/3G 네트워크의 4G/5G 전환에 따른 탄소 발자국 평가” 보고서를 발표하였다. 이는 2G/3G를 그대로 사용하는 기준 시나리오와 4G/5G로 전환하는 시나리오를 비교하는데, 데이터 센터, 네트워크, 휴대폰, IoT로 구분하여 필요한 부분을 구분하고 전환 여부에 따른 변화를 계산하고 있다. 보고서는 네트워크와 휴대폰을 포함할 경우 2개월, IoT 장비까지 포함할 경우 6개월이면 네트워크 전환에 따른 탄소 배

5) Arcep에 의해 2018년 출범

출 감소분이 증가분을 상쇄할 것으로 보고 있다(Mobile Network Technical Experts Committee(2023)).

다음으로 강제적인 규제는 아니지만 ICT의 환경 영향을 측정하고 개선하려고 했던 유럽 차원의 노력인 ICT Footprint EU를 소개한다. ICT Footprint EU⁶⁾는 에너지 및 환경 효율성을 위한 EU 프레임워크 이니셔티브⁷⁾로 2016년부터 2019년까지 3년간 진행되었다. ICT Footprint EU는 ICT 부문에서 탄소 배출량 방법론의 채택을 촉진하는 유럽 플랫폼이다. 조직이 에너지 효율성을 높이고 탄소 배출량을 줄여 궁극적으로 경쟁력을 높일 수 있도록 지원하는 것을 목표로 한다. ICT Footprint EU 프로젝트는 최종 사용자에게 사용 가능한 ICT 방법론을 알리고 LCE(Life Cycle Engineering) 지원 프레임워크를 만들고, ICT 에너지 및 환경 효율성 분야의 솔루션 제공업체를 위한 기회 시장을 창출하며, 중소기업이 탄소 배출량을 평가하는 도구를 제공하는 것을 목표로 하였다. 또한 이러한 방법론을 전파하기 위해 이해관계자들과 소통하고, ICTFOOTPRINT.eu 정책 실행계획 전략 보고서를 작성하며, 관계자들을 참여시키고 인센티브를 부여하기 위한 메커니즘을 제공하는 것도 목표에 포함되어 있었다.

3. 미국

미국 바이든 대통령은 트럼프 정부의 기후변화·에너지 정책에서 탈피하고 탄소 중립(Net-Zero)으로 대표되는 청정에너지 체제로 전환하고자 한다. 바이든 정부의 주요 방향성은 미국의 파리협정 복원 및 역할 확대, 연방정부 주도의 온실가스 감축 추진체계 재정비, 온실가스 배출 관련 규제제도 강화, 온실가스 감축 목표의 법제화 추진 등이며, 「인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act)」 등을 통해 추진되고 있다(양의석·최영선, 2021). 「인플레이션 감축법 2022(Inflation

6) ICT Footprint EU

7) European Framework Initiative for Energy and Environmental Efficiency in the ICT Sector

Reduction Act of 2022)」은 2022년 8월 제정되었다. 기후변화 대응, 친환경 에너지의 보급, 취약계층 지원 확대, 일자리 창출 및 노동자 보호, 의료비 지원 등을 목표로 세법을 개정하는 내용을 담고 있으며, 친환경 에너지에 대한 세제 혜택의 범위를 확대하였다. 분야별로는 발전, 탄소격리, 연료, 가정용 에너지 설비, 건물 에너지 효율, 친환경 자동차, 에너지 저장 시설 등에 대한 세액공제가 이에 포함된다(세계법제정보센터, 2022). 조세·청정에너지·보건 분야 등의 내용을 담은 8개 편(Title), 16개 장(Subtitle)으로 구성되어 있으며, 1편 재정위원회는 에너지 안보를 포함하고 있다. 구체적으로는 재생 자원 기반 전기 생산에 대한 세액공제 연장, 청정 연료 지원, 구매자에 대한 청정에너지 및 효율성 인센티브 제공, 청정 자동차 구매 활성화, 청정에너지 제조 및 에너지 안보 지원, 인플레이션에 따른 유해물질기금 자금 조달 비율 개정, 세액공제 수익화 및 지출 승인 등이다(한국산업기술진흥원, 2022).

「2022년 반도체법(CHIPS Act of 2022)」은 (1) 반도체 제조 시설 또는 장비의 건설, 현대화 또는 확장을 위한 인센티브 프로그램, (2) 고급 반도체에 대한 R&D 및 인력 활동을 추진하기 위한 상무부 주도의 프로그램, (3) 관련 공급망, 국가 안보 및 국제 협력 이니셔티브에 대한 보충적 프로그램을 포함하고 있다. 이 법은 5G 기술, 개방형 인터페이스 기술, 다중 공급업체 네트워크 관리에도 15억 달러의 예산을 배정하고 있고, R&D, 기술이전, 혁신, STEM 교육(과학, 기술, 교육 및 수학)에도 1,000억 달러 이상의 예산을 배정하였다(김앤장, 2022).

한편 EU 탄소국경조정 메커니즘 도입 예고로 미국도 유사한 개념의 제도 도입을 검토하고 있다. 미국은 2021년 7월 대규모의 기후변화 인프라 지출 계획 추진을 합의하며, 재원조달 방안의 하나로 탄소국경조정세를 부과하는 「공정전환경쟁법(Fair, Affordable, Innovative, and Resilient Transition and Competition Act)」을 발의하였다. 2024년부터 화석연료, 알루미늄, 철강, 시멘트 등에 탄소세를 부과하고, 이를 수입제품까지 적용한다는 것이 주요 내용이다(김선옥·홍석진, 2022). 미국에서는 현재 EU와 같은 배출권 거래제가 운영되고 있지 않아 미국 전

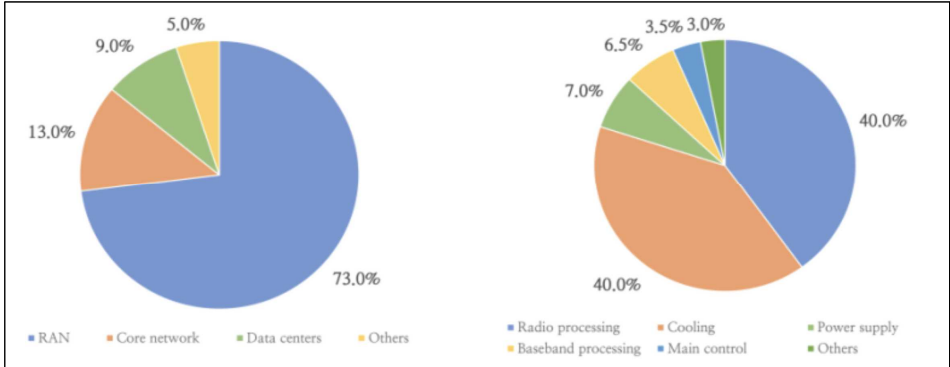
반에 동일하게 책정된 탄소배출 비용에 대한 데이터가 부재하다. 이에 따라 미국은 유럽과 같이 기존의 배출권거래에 기반하지 않고 타 법률에 의한 환경비용과 제품의 탄소배출 함량에 기반하여 제도를 운영한다. 참고로 석유 및 정유 분야와 관련된 미국의 지역 단위의 제도로는 캘리포니아와 워싱턴주가 운영 중인 ‘탄소배출 거래제(Cap-And-Trade System)’, 미국 북동부 11개 주가 참여하는 ‘지역 온실가스 이니셔티브(Regional Greenhouse Gas Initiative)’가 존재한다(김선욱·홍석진, 2022).

제 2 절 기술 동향

1. 이동통신 네트워크 인프라의 전력 소모

5G 이동통신 네트워크의 전력 소모는 [그림 3-2]의 (좌)와 같이 RAN 73.0%, core network 13.0%, 데이터 센터 9.0%, 기타 5.0%의 비율을 차지하고 있으며, 무선 기지국에 해당하는 RAN에서 소모되는 전력이 타 구성요소에 비해 압도적으로 높다. RAN에서의 전력 소모 비율은 [그림 3-2]의 (우)와 같이 무선 신호 처리(radio processing)와 장비 냉각(cooling)이 각각 40%의 비율을 차지하고 있으며, 장비 운용 전력(power supply), 디지털 신호 처리(baseband processing), 주 시스템 제어(main control) 등은 20%의 비율을 차지하고 있다. 따라서 전파 송수신 최적화 및 장비 발열 감소가 5G 이동통신 네트워크 에너지 효율화에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

[그림 3-2] 5G 이동통신 네트워크의 전력 소모 비율 현황

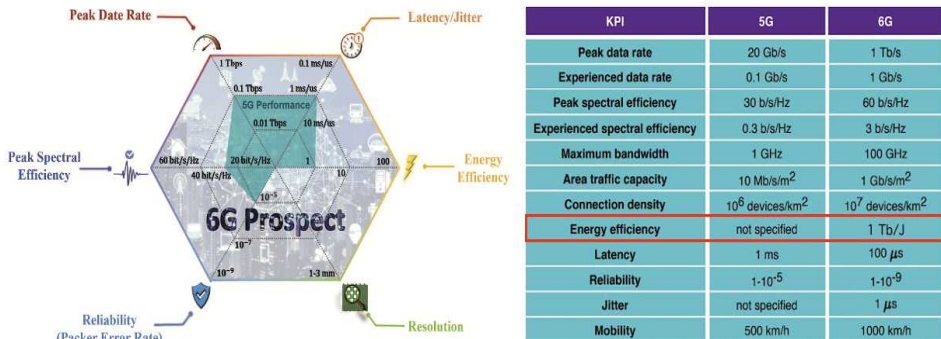


자료: Larsen et al.(2023) p.772 내용 정리 저자 작성

2. 에너지 효율의 평가 기준

기준에 발표된 5G 이동통신 KPI에서는 에너지 효율과 관련된 지표가 존재하지 않았으나, 최근 발표된 [그림 3-3] 6세대(6G) 이동통신 핵심 성능 지표에서는 에너지 효율에 관한 성능 지표가 추가되었다(Akyildiz et al., 2022).

[그림 3-3] 6G 이동통신 핵심 성능 지표에 제시된 에너지 효율 지표



주: 5G 이동통신 주요 성능 지표와 6G 이동통신 핵심 성능 지표 간 비교, 각 핵심 성능 지표별로 충족해야 하는 수치가 다름

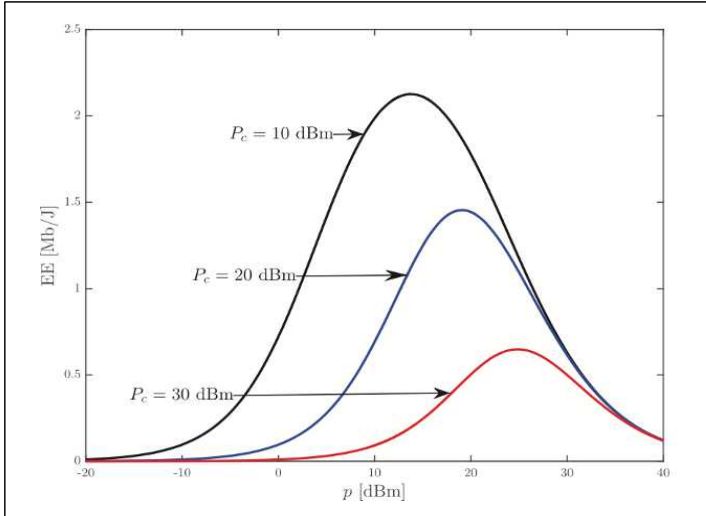
자료: Akyildiz et al.(2022), p.4251

6G 이동통신 핵심 성능 지표에서 목표로 하는 에너지 효율 지표는 단위 에너지 1줄(Joule, J)당 1테라 비트(tera bit, Tb)의 데이터 전송을 의미하는 1Tb/J이다. 네트워크 에너지 효율은 단위 에너지 대비 송신 정보량으로 표현되며, 단일 통신 링크의 에너지 효율은 다음 수식과 같이 정의된다(Buzzi et al., 2016).

$$EE = \frac{Tf(\gamma)}{T(\mu p + P_c)} = \frac{f(\gamma)}{\mu p + P_c} \text{ [bits/Joule]}, \quad (1)$$

여기서 T, μ, p 는 각각 단위 시간, 송신 전력 증폭기 효율의 역수, 송신 전력을 의미하며, $P_c, f(\gamma)$ 는 각각 정적 소모 전력, 에너지 효율 최적화 함수로 정의된다. 정적 소모 전력은 장비가 미작동 상태(대기 상태)일 때, 전력 소모량을 의미한다. 식(1)의 에너지 효율 'EE(Energy Efficiency)'는 에너지 효율 최적화 함수와 비례하고, 소모 전력 및 송신 전력과 반비례한다. 에너지 효율 최적화 함수 $f(\gamma)$ 의 파라미터 γ 는 목적에 따라 다양하게 정의될 수 있으며, system capacity, throughput, outage capacity 등으로 정의된다. [그림 3-4]는 송신 전력에 따른 에너지 효율 함수 그래프를 나타낸다. Buzzi et al.(2016)의 연구에 따르면 정적 소모 전력에 따라 에너지 효율이 최적화되는 송신 전력이 달라지며, 정적 소비 전력의 값이 감소함에 따라 에너지 효율의 최댓값이 증가한다. 따라서 정적 소모 전력이 적은 상태에서 에너지 소모를 적게 할수록 에너지 소비 효율 측면에서 유리하다.

[그림 3-4] 송신 전력에 따른 에너지 효율 함수 그래프



자료: Buzzi et al.(2016), p.699

다만 네트워크의 에너지 효율은 통신의 주체가 일 대 일인 단일 통신 링크의 효율에 비해 정의가 복잡하며, 사용자 단말기의 무선 접속을 여러 곳에서 지원하는 multi-cell 상황, 여러 개의 송수신 안테나를 이용한 스마트 안테나 기술인 MIMO(Multiple Input Multiple Output), 무선·이동통신 시스템의 성능을 향상하고자 여러 개의 subcarrier를 사용하는 통신 기술인 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 등 네트워크 시스템 구성 및 에너지 효율의 최적화 기법에 따라 정의가 달라진다. Multi-cell OFDMA 네트워크의 에너지 효율을 나타내는 방법은 여러 가지가 있으며, 그중 대표적으로 사용되는 'GEE(Global Energy Efficiency)' 방법은 이동통신 네트워크에서 소모되는 에너지의 총량과 셀 내부에서 처리되는 데이터양의 합산 비율로 정의된 에너지 효율을 의미하며 다음과 같이 정의된다(Ng et al., 2012).

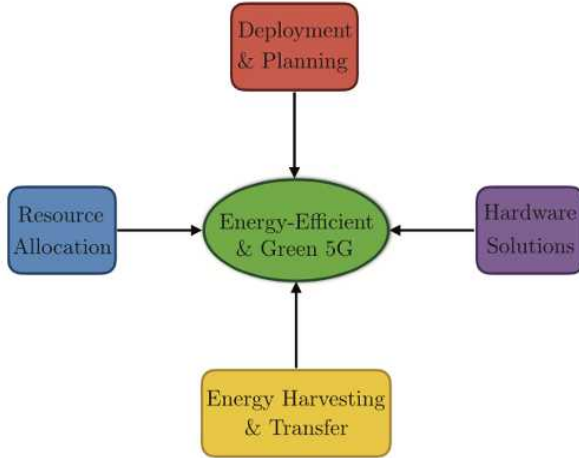
$$U_{eff}(P, W, S) = \frac{U(P, W, S)}{U_{TP}(P, W, S)} \text{ [bits/Joule]} \quad (2)$$

여기서 P, W, S 는 각각 power, pre-coding coefficient, subcarrier allocation을 의미하며, $U(P, W, S)$, $U_{TP}(P, W, S)$ 는 각각 기지국에서 다수의 단말로 송신되는 데이터 총량을 네트워크 내부의 모든 셀에 대하여 합산한 weighted system capacity, 네트워크 시스템에서 소모된 에너지 소모의 총량을 의미한다. GEE 효율은 에너지 효율과 유사하게 system capacity가 클수록, 소모된 에너지 총량이 적을수록 효율이 증가한다. 이외에 개별 네트워크 노드의 특성을 고려한 다양한 평가 기준이 있는데, 에너지 효율이 개별 노드 에너지 효율의 weighted sum으로 정의되는 WSEE(Weighted Sum Energy Efficiency; Venturino and Buzzi, 2015), 개별 노드 에너지 효율의 weighted product로 정의되는 WPPE (Weighted Product Energy Efficiency; Buzzi et al., 2012), 개별 노드의 에너지 효율의 weighted minimum으로 정의되는 WMEE (Weighted Minimum Energy Efficiency; Zappone et al., 2016) 등이 존재한다.

3. 5G 이동통신 네트워크 에너지 효율화 연구 동향

Buzzi et al.(2016)에 따르면([그림 3-5] 참조) 이동통신 네트워크 에너지 효율화 방법은 총 네 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째 방법은 기지국의 송신 전력 최적화를 통해 에너지 효율성을 높이는 'Resource allocation'이며, 두 번째 방법은 기지국의 배치 및 하드웨어 구성 최적화를 통해 효율성을 높이는 'Deployment & Planning'이다. 세 번째 방법 'Hardware solutions'는 저전력 하드웨어 개발을 통한 효율성 향상을 의미하며, 마지막 'Energy harvesting & Transfer'는 주변 환경으로부터 에너지를 얻고 이를 전송함으로써 에너지 효율성을 향상하는 방법을 의미한다.

[그림 3-5] 5G 에너지 효율화를 위한 기술 분류

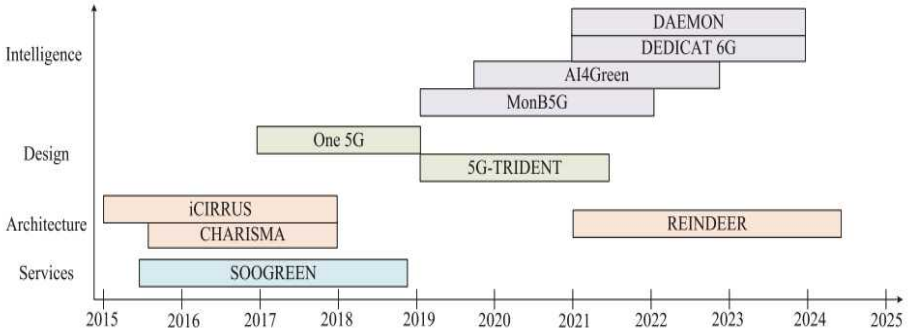


자료: Buzzi et al.(2016), p.698

가. 기지국 송신 전력 최적화(Resource allocation)

2023년 덴마크의 TDC Net은 5세대 이동통신 네트워크에서 에너지 효율에 관한 연구에 대한 조사를 진행하여 [그림 3-6]과 같이 intelligence, design architecture, services(무선 접속망의 구조, 사용자 단말기에서 요청하는 데이터 트래픽의 양에 따른 기지국 내 장비의 활성화 상태 조정 등) 측면에서 5세대 이동통신 네트워크의 전력 소모 감축을 위해 진행한 프로젝트를 타임라인으로 소개하였다. 해당 연구는 사용자 단말기의 요청에 따라 언제든지 응답하기 위하여 기지국이 ‘상시 활성화 상태’를 유지함으로써 발생하는 전력 소모가 이동통신 네트워크 전력 소모에서 가장 많은 부분을 차지하고 있다고 제시하였으며, 기지국 내 라디오 유닛의 발열에 따른 냉각 목적으로 사용되는 전력 또한 많은 부분을 차지한다고 분석하였다(Larsen et al., 2023).

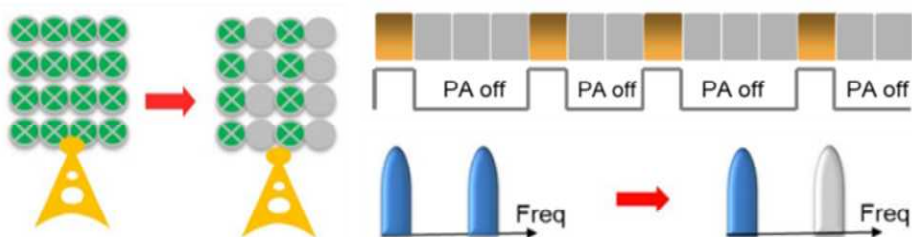
[그림 3-6] 이동통신 네트워크 전력 소모 감축을 위한 프로젝트 타임라인



자료: Larsen et al.(2023), p.770

이러한 문제를 해결하기 위해 제안된 방법 중 2022년 중국 China telecom research center가 IEEE Access에서 제안한 방법(Tan et al., 2022)이 있다. [그림 3-7]과 같이 기지국과 코어 네트워크에서 사용자 단말기에서 요청하는 데이터 트래픽에 따른 기지국 내 장비의 활성화 상태를 결정(기지국 내에 존재하는 사용자 단말기의 데이터 트래픽 요청에 따른 장비의 활성화 비율 조절)하는 에너지 효율 개선 방안에 대해 제안하였다. 제안한 방안에 따르면, 라디오 유닛의 무선 신호 처리 과정에서 동작하는 전력 증폭기(power amplifier, PA)의 활성화

[그림 3-7] 데이터 트래픽에 따른 에너지 효율 개선 방안



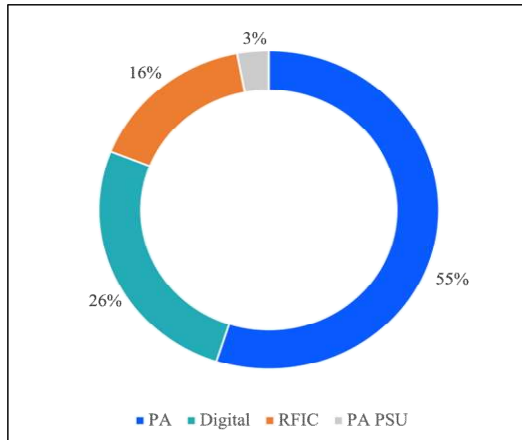
주: 기지국 내 라디오 유닛의 기지국 내에 존재하는 사용자 단말기의 데이터 트래픽 요청이 많은 경우 정상 활성화 상태를 유지, 반대로 데이터 트래픽 요청이 적은 경우 기지국 내 장비의 부분적인 활성화를 통한 기지국 내 전력 소모량 감소

자료: Tan et al.(2022), (좌) p.51749, (우/상) p.51749, (우/하) p.51750

구간을 조정하는 방안과 라디오 유닛과 사용자 단말기 간 무선 통신 주파수 (radio frequency, RF) 채널의 활성화 비율을 조정하여 에너지 효율을 개선한다.

핀란드의 통신장비 제조회사인 Nokia의 Bell Labs에서 2022년에 발표한 ‘Energy efficiency in next-generation mobile networks’ 보고서(Nokia, 2022)에 따르면 기지국의 massive MIMO RU에서 소모되는 전력을 [그림 3-8]과 같이 분석하였다.

[그림 3-8] Massive MIMO RU 내 전력 소모 비율 분석

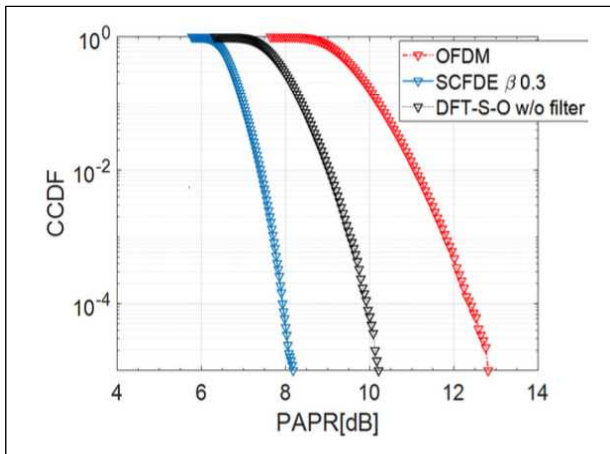


자료: Nokia(2022), p.5

분석에 따르면 massive MIMO RU의 장비 부하율이 100%에 달했을 때, 기저대역 신호를 무선 통신 신호로 변환하는 과정을 담당하는 PA, digital processing integrated circuit(Digital), RFIC(Radio Frequency Integrated Circuit)가 약 97%를 차지하며 PA의 전원 공급을 담당하는 PA PSU(PA power supply unit)에서 약 3%의 전력 소모를 차지하고 있다. Nokia는 기지국의 RU에서 소비되는 전력의 최적화를 기반으로 한 여러 에너지 효율 개선 방안을 보고하였다(Nokia Bell Labs, 2022). Nokia Bell Labs(2022)에서는 세대별 이동통신 네트워크의 air-interface design 및 특징 분석 기반의 개선 방안과 셀 커버리지 내

데이터 트래픽에 따른 RU의 안테나 요소의 switching을 통한 전력 소모 개선 방안을 제시하였으며, waveform을 통해 PAPR(Peak-to-Average Power Ratio)을 줄임으로써 에너지 효율성을 높이는 방안을 연구하였다. PAPR이란 송신기의 평균 전력 대비 첨두 전력의 비율을 의미하며, 보통 PAPR의 수치가 높을수록 전력 소모가 크다. Nokia는 [그림 3-9]과 같이 SCFDE(Single Carrier Frequency Domain Equalization)의 air-interface 형태를 적용한 무선 신호가 OFDM으로 구성된 air-interface 형태보다 PAPR 수치가 낮음을 시뮬레이션 결과를 통해 입증하였으며, 기지국의 부하율이 낮은 상황에서 adaptive waveform을 적용하여 기지국의 에너지 효율을 개선하는 방안을 제안하였다.

[그림 3-9] CCDF에 따른 PAPR 수치 분석



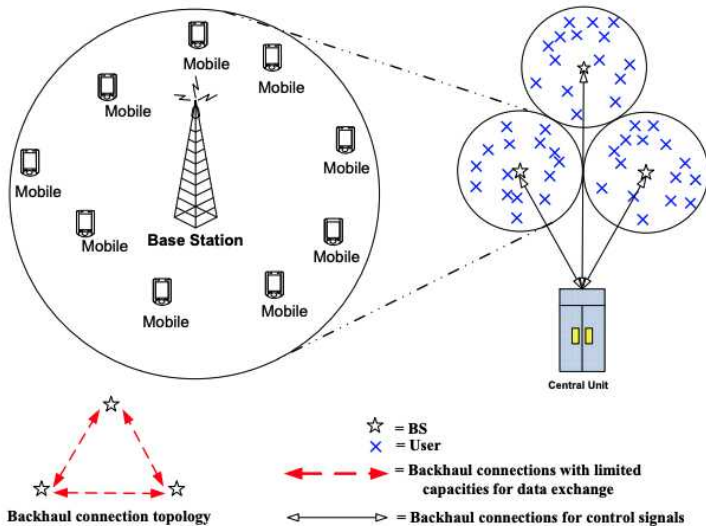
자료: Nokia Bell Labs(2022), p.8

이 외에도 Nokia Bell Labs(2022)에 따르면 5G 네트워크 기지국은 라디오 유닛, 기지국 내부 데이터 처리를 위한 기저대역 유닛을 중앙 집중화시켜 기지국 내 라디오 유닛의 발열 냉각을 위한 비용을 최소화함으로써 에너지를 절약하는 방법을 제시하였다. 기지국 내부의 전력 소모는 기저대역 유닛, 라디오 유닛의 발열을 냉각시키기 위한 전력 소모가 가장 큰 부분을 차지하는데, 이러한 기저대역 유닛

및 라디오 유닛을 네트워크 중앙에 배치하여 기저대역 유닛 및 라디오 유닛의 수를 절감시켜 전력 소모를 큰 폭으로 감소시킨다. 그리고 에너지 풀링 기법은 기지국 내부의 데이터 트래픽을 측정하여 데이터 트래픽이 상대적으로 적은 기간 동안에 가장 적은 수의 DU/CU를 운영하여 에너지 소모를 절감시킬 수 있다.

Ng et al.(2012)은 multi-cell OFDMA 네트워크 구조에서 에너지 효율의 개선을 위한 송신 전력 최적화(power resource allocation)를 제안하였다. 본 연구에서 제안한 에너지 효율 최적화 방안은 전력 소모량과 네트워크 용량이 제한된 상황에서 일정 수준 이상의 데이터 용량을 달성하기 위해 제안되었으며, 기지국과 코어 네트워크에서 처리할 수 있는 사용자 단말기의 데이터 트래픽 용량 및 사용자 단말기와 연결 상태 등 복잡한 상황을 고려하였다. 시뮬레이션 실험을 통하여 제안한 최적화 방안을 입증하였다.

[그림 3-10] Multi-cell OFDMA 시스템 네트워크 구조

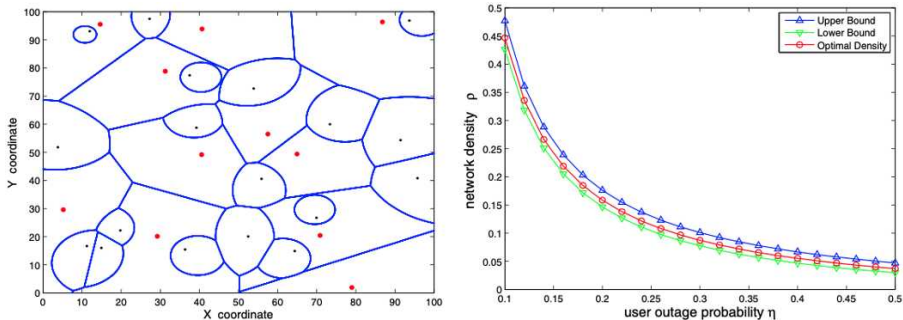


자료: Ng et al.(2012), p.3619

나. 네트워크 내 기지국 배치 및 하드웨어 최적화(Network planning and deployment)

네트워크 설계 및 배치 관련 기술은 네트워크에 두 개 이상의 기지국을 혼용하는 dense heterogeneous network(Cao et al., 2013), 다수의 안테나를 사용하는 massive MIMO 시스템을 사용하는 dense network(Björnson et al., 2015) 배치 등으로 구분할 수 있다. [그림 3-11]은 Cao et al.(2013)에서 제안한 heterogeneous cellular network의 기지국 배치도 및 기지국 최적 밀도의 하한, 상한 분석 결과를 나타낸다. 본 연구는 이러한 분석을 통하여 heterogeneous cellular network에서 용량 확장과 에너지 효율 증대를 위한 최적의 macro/micro 기지국 조합을 제시하였다.

[그림 3-11] Network cell topology 및 기지국 밀도 분석 결과



주: cell topology of heterogeneous network(좌), lower-upper bound of optimal density(우)

자료: Cao et al.(2013), (좌) p.4352, (우) p.4354

Björnson et al.(2015)은 multi-user MIMO 시스템에서 에너지 효율을 최대화하기 위한 최적의 안테나, 단말 개수 및 송신 전력 분석 결과에 대하여 제시하였다. 본 연구에서는 안테나 개수, 단말 개수와 같은 요인들이 에너지 효율에 미치는 영향에 대하여 분석하였으며, 결과적으로 수백 개 이상의 안테나를 이용한 massive MIMO 시스템에서 에너지 효율이 최대화됨을 확인하였다.

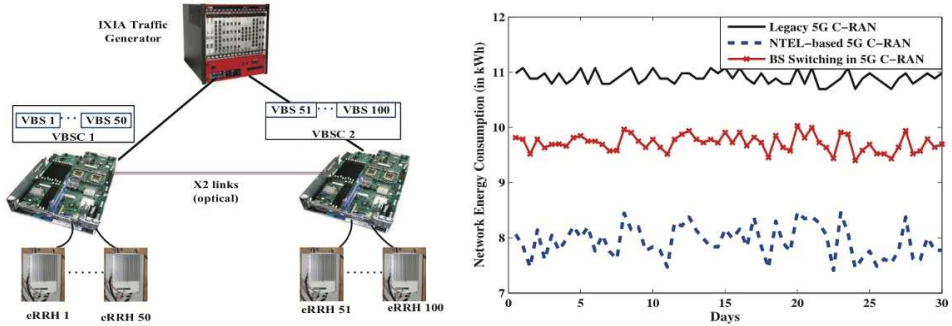
Nokia Bell Labs(2022)에 따르면 5G 네트워크는 multi-TRP(Transmission Reception Point) 및 micro 셀과 같은 소형 셀 기지국을 활용하면 높은 에너지 효율을 달성 가능하다. 소형 셀의 커버리지 크기는 대형 cell에 비해 좁아 신호의 송수신이 optical link를 통하여 이루어진다. 보통 wireless link에 비해 optical link의 전력 소모량이 적어 소형 기지국 활용 시 에너지 소모가 적다. 또한 소형 셀 기지국은 적은 RF 체인 수 및 안테나 개수 활용을 통하여 송수신 전력이 낮은 특징을 가지고 있으며, 데이터 트래픽을 주기적으로 측정하여 트래픽량이 적은 특정 소형 셀 기지국을 비활성화 상태로 변환하여 에너지 효율을 향상시킬 수도 있다.

다. 저전력 하드웨어 설계(Hardware solutions)

Hardware solutions는 전력 증폭기, 주파수 변환기와 같은 신호처리 역할을 담당하는 하드웨어인 RF 체인 설계, 간소화된 송신기 및 수신기 구조의 설계, 기지국 구조 설계 등의 다양한 하드웨어 기반 에너지 효율화 방법을 의미한다. Hardware solutions는 power amplifier의 효율적인 설계(Joung et al., 2015)를 통하거나, 기존 하드웨어의 높은 해상도로 인하여 발생하는 다수의 전력 소모를 낮은 해상도의 quantization 기법을 통한 하드웨어 설계(Mo and Heath, 2015; Liang and Zhang, 2016)로 전력 소모를 낮춰 에너지 효율을 개선하였다.

삼성전자는 테스트베드를 이용하여 저전력 C-RAN을 구현한 후, 에너지 효율 최적화 알고리즘을 적용하여 성능을 실제 환경에서 검증하는 PoC (Proof-of-Concept)를 진행하였다(Saxena et al., 2016). 본 연구는 C-RAN이 트래픽을 인식하여 비활성 상태 또는 부하가 낮은 기지국의 전원을 꺼서 전체 에너지 소비를 줄일 수 있음을 제안하였다. 제안한 방식은 [그림 3-12]의 테스트베드를 이용하여 검증되었으며, 약 25%의 에너지가 절감되는 결과를 보였다.

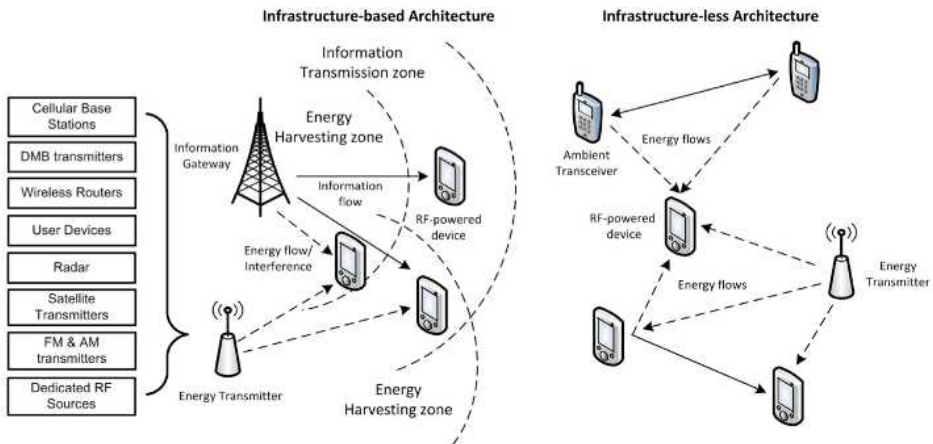
[그림 3-12] C-RAN 테스트베드 셋업과 에너지 소모 실험 결과



주: C-RAN 테스트베드 셋업(좌), 에너지 소모 실험 결과(우)
 자료: Saxena et al.(2016) (좌) p.1018, (우) p.1020

라. 에너지 하베스팅 및 무선 전력 전송(Energy harvesting and transfer)
 다양한 환경으로부터 에너지를 수확하여 전력으로 변환하는 energy harvesting 기술은 무선 통신 시스템의 에너지 효율을 높일 수 있는 기술로 대두되고 있다. 실제로 energy harvesting 기법은 배터리 외 자원으로 무선 네트워크에 전력을 공급하여 에너지 효율을 높일 수 있다. Energy harvesting 기술은 수확하는 에

[그림 3-13] RF energy harvesting network architecture



자료: Lu et al.(2015), p.759

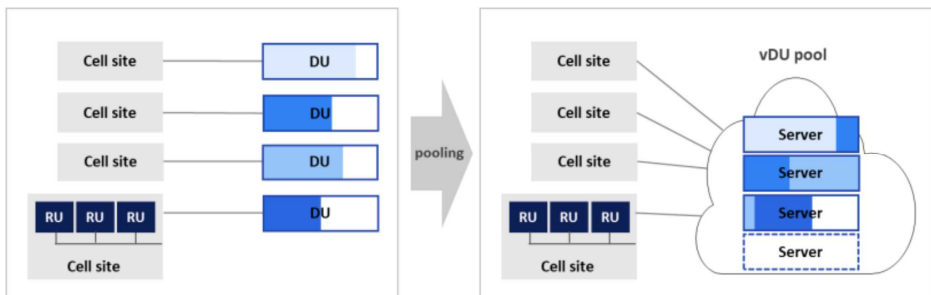
너지 원천의 종류에 따라 environmental energy harvesting, radio-frequency energy harvesting으로 구분된다(Ulukus et al., 2015; Lu et al., 2015). Environmental energy harvesting 기술은 태양이나 바람과 같은 천연자원에서 에너지를 수확하는 기술을 의미하며, radio-frequency energy harvesting 기술은 [그림 3-13]과 같이 무선으로 전파되는 라디오 신호로부터 에너지를 수확하여, 낭비되는 에너지의 재활용을 가능하게 한다.

제 3 절 산업 동향

1. 삼성(Samsung)

삼성은 장비의 가상화와 네트워크 프로토콜의 소프트웨어 개선을 통한 에너지 효율 향상 기술을 개발하였다. 해당 기술은 [그림 3-14]와 같이 기지국 내 DU의 가상화(virtualization)와 풀링(pooling)을 통해 vDU pool을 형성한 후 데이터 리소스를 네트워크 서버로 집약하여 일괄적으로 처리한다. 이는 기지국별 에너지 소모의 형태가 아닌, 통합된 형태의 에너지 소모로 에너지 효율을 향상한 기술이다.

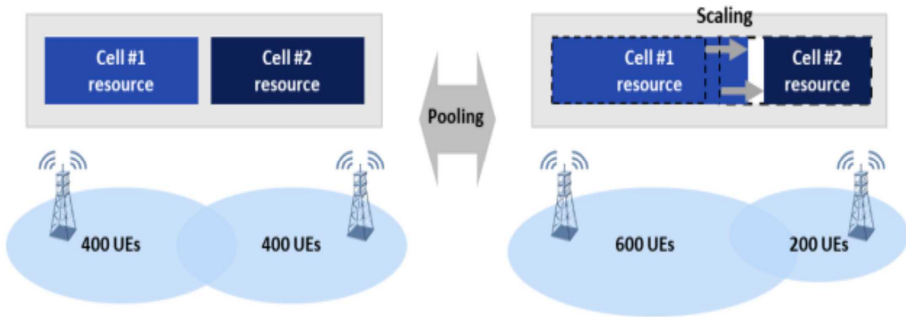
[그림 3-14] 셀 사이트 내 vDU 풀링 기반 vDU pool 에너지 효율 향상 기술



자료: Samsung(2021), p.11

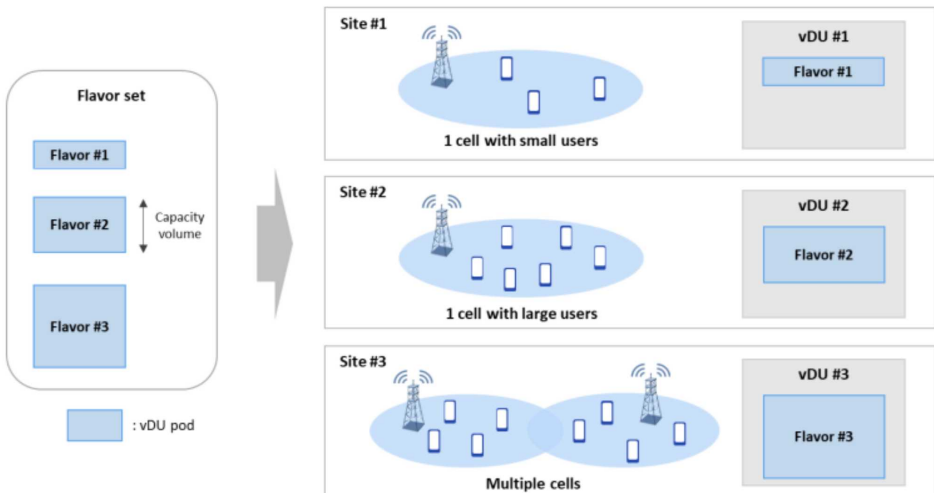
또한 [그림 3-15]와 같이 기지국 셀 사이트 내 UE의 수가 불균형하게 분포하고 있는 경우, 리소스 스케일링 및 풀링 기술을 기반으로 vDU pool에서 처리할 수 있는 UE의 데이터 처리량을 조절하여 에너지 효율 향상 기술을 개발하였다.

[그림 3-15] 단말기의 수에 따른 스케일링과 풀링 기반 에너지 효율 향상 기술



자료: Samsung(2021), p.11

[그림 3-16] 다이나믹 스케일링을 통한 네트워크 프로토콜의 용량 조절



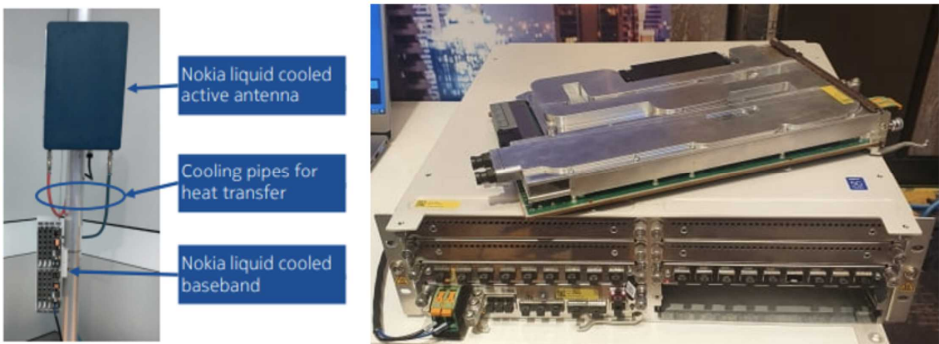
자료: Samsung(2021), p.9

또한 [그림 3-16]과 같이 셀 사이트 내 위치한 UE의 수에 따라 vDU pool 내 네트워크 시스템 용량을 다이내믹 스케일링 기술을 통하여 네트워크 용량을 재배치하여, 데이터 트래픽을 처리한다. 해당 기술은 실시간으로 변화하는 네트워크 용량을 재배치하여 불필요한 전력 소모를 감소시켜 에너지 효율을 개선시킨다.

2. 노키아(NOKIA)

NOKIA는 RAN 내 RU의 효율적인 냉각을 목적으로 전력 소모 감소 기술을 개발하였다. 기존 RU 외부에 설치하여 사용하는 공랭식 냉각 방식(팬과 에어컨)이 아닌, 물을 활용한 수랭식 냉각 방식을 적용한 [그림 3-17]의 ‘Liquid cooled AirScale base station’ 기술을 개발하였다. 이는 특수 방수 기술이 적용된 기지국 장비에 수관이 삽입된 형태이다. 장비 작동 간 저장된 물이 수관(냉각 파이프)을 타고 순환하며 장비의 발열을 억제한다. 냉각과정에 사용된 물은 밖으로 배출되어 온수로 재활용할 수 있으며, 이를 건물의 난방 등에 사용한다. 해당 기술은 공랭식 냉각 방식에 비해 전력 소모량을 최대 90%, 이산화탄소 배출량은 최대 80%까지 줄일 수 있다.

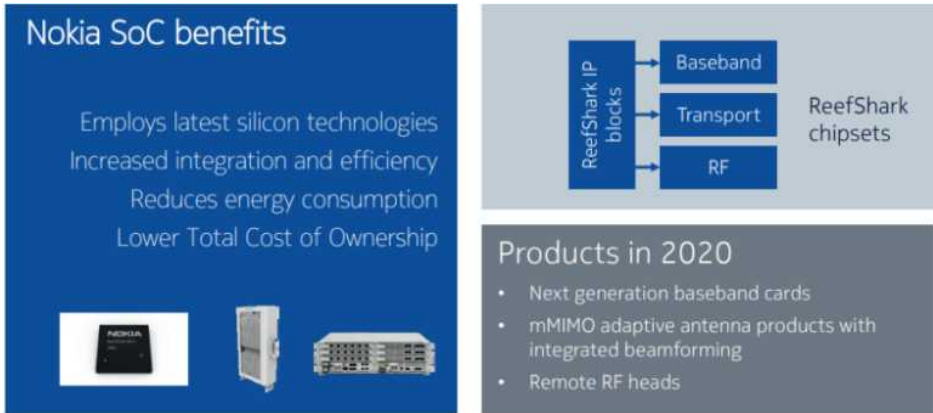
[그림 3-17] NOKIA의 ‘Liquid cooled AirScale base station’ 기술



자료: (좌) NOKIA(2020) p.6, (우) 한국경제(2022)

또한 SoC(System on Chip) 구조의 [그림 3 - 18]과 같은 저전력 5G RAN을 개발하였다. 이는 이전 세대의 RAN보다 향상된 성능과 전체 전력 소모가 약 60% 절감되었다.

[그림 3 - 18] NOKIA에서 개발한 SoC 구조와 5G RAN

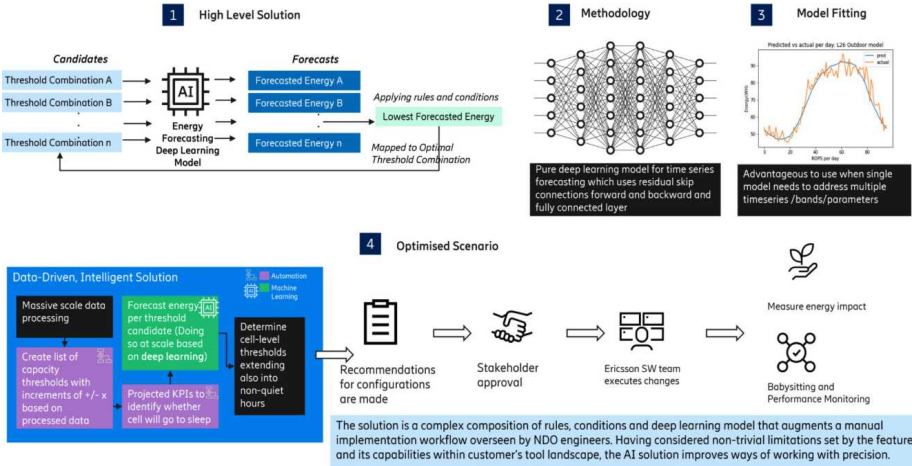


자료: NOKIA(2020), p.6

3. 에릭슨(Ericsson)

Ericsson은 [그림 3 - 19]의 AI 기반 에너지 효율 향상 기술을 개발하였다. 이는 5GC 내 처리되는 네트워크 데이터 트래픽을 측정하여 임계치를 설정한다. 이후 실시간 데이터 트래픽이 설정한 임계치보다 작은 경우 연결된 기지국을 절전 시킨다. 본 AI 기반 에너지 효율 기술의 구현을 위하여 Ericsson은 두 가지 학습 모델(예측 모델, 최적화 모델)을 설계하였다. 예측 모델은 실제 측정된 5GC 내 네트워크 데이터 트래픽의 총량을 기반으로 단말의 이동성(사용자가 위치한 셀 사이트에서 벗어나 다른 셀로 이동할 때 서비스 셀이 바뀌는 현상), 셀의 서비스 지역 내 위치한 UE 개수 등을 고려하여 서비스 지역 내 소모되는 예측 모델값을 제시한다. 기존에 설계된 에너지 효율 최적화 모델과 예측 모델을 이용하여 기지국의 절전모드 전환을 위한 최적의 다이내믹 임계치를 도출한 후 운용된다.

[그림 3-19] Ericsson의 AI 기반 에너지 효율 향상 기술



자료: Ericsson(2023)

또한 Ericsson은 [그림 3-20]과 같이 AI 기술이 적용된 스마트 기지국 시스템 ‘Ericsson Smart Connected Site’를 개발하였는데, 이는 기지국에서 처리하는 실시간 네트워크 데이터 트래픽 용량을 AI 기반으로 분석하며, 탑재된 스마트 시스템이 기지국 내 발열을 감지하여 유동적으로 냉각 장치를 운용한다. 개발한 AI

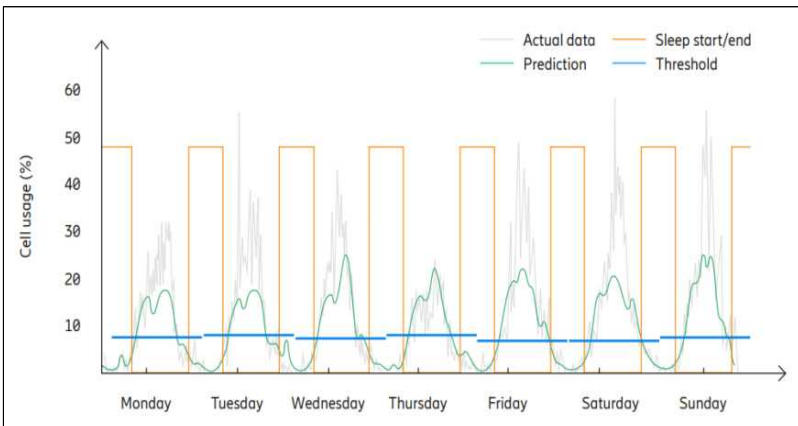
[그림 3-20] Ericsson에서 개발한 Smart Connected Site 기지국



자료: Ericsson(2020), p.10

기반 에너지 효율 향상 기술의 대표적인 예로는 머신러닝 기반 학습 기법을 MIMO에 적용하여 안테나의 동작 여부를 결정하는 MIMO Sleep 기술(그림 3-21) 참조), 강화학습(reinforcement learning, RL) 기술을 이용하여 이산화탄소 배출 감소 및 기지국의 에너지 소모를 최적화하는 ‘Machine learning for HetNet traffic pattern’ 등이 있다.

[그림 3-21] 머신러닝 기법을 적용한 MIMO sleep 기술



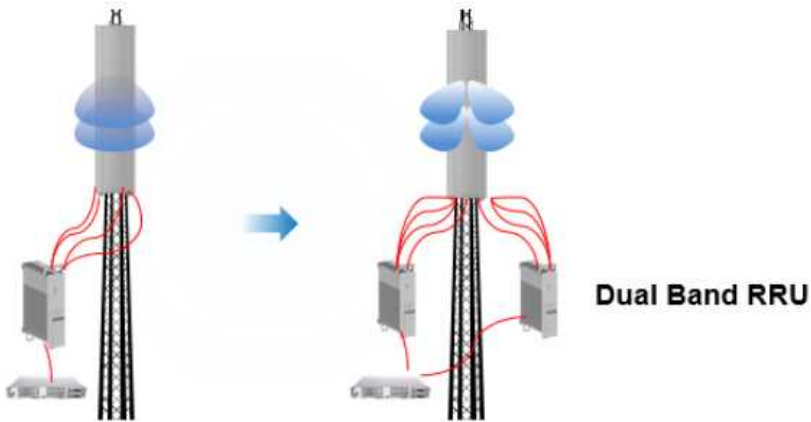
자료: Ericsson(2020), p.7

4. 화웨이(Huawei)

중국의 통신장비 제조업체 Huawei는 에너지 효율 향상을 위하여 무선 장비와 네트워크 사이의 데이터 송수신을 위한 초광대역 RRU(Remote Radio Unit), C-RAN, 인공지능 기반 네트워크 Intelligent RAN 구현 등의 기술을 개발하였다. [그림 3-22]의 초광대역 RRU는 할당된 주파수를 분할하여 양방향으로 통신하는 FDD(Frequency Division Duplex) 기법을 적용하였으며, 통신장비 제조업체 최초로 초광대역 RRU를 개발하였다. 이는 기존에 상용화된 3개의 RRU를 결합한 형태와 동일한 성능을 제공하며 기존 RRU 대비 30%의 전력 소모량을 절감할 수 있다. 또한 안테나 내부의 에너지 손실을 감소시킴으로써 RF 에너지 효

율을 높이는 SDIF(Signal Direct Injection Feeding) 기술을 적용한 고효율 안테나를 개발하여 RRU의 전력 소모를 15% 감소시키는 성능을 확보하였다.

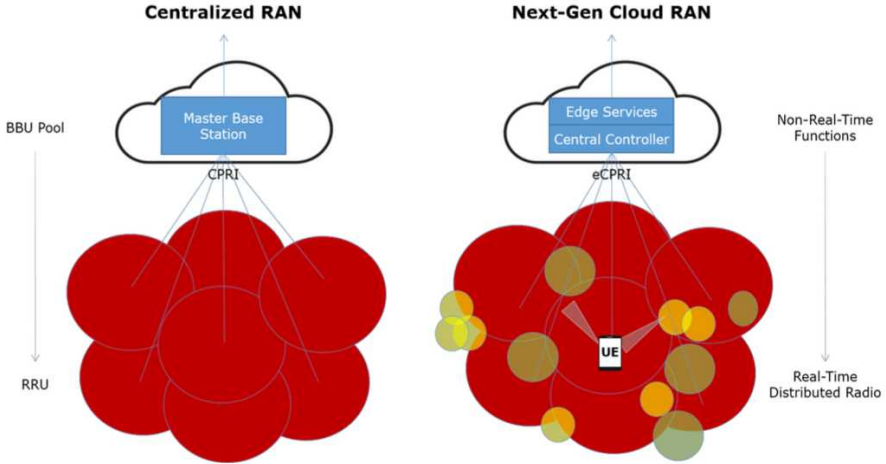
[그림 3-22] Huawei에서 개발한 Dual Band 초광대역 RRU



자료: Huawei, “4T4R 6 Sector, the Next Leap in LTE Capacity Expansion”, p.3

Huawei는 [그림 3-23]의 효율적인 네트워크 구축 및 에너지 효율 증대를 위하여 중앙 집중식 클라우드 컴퓨팅 기반 시스템인 C-RAN 구조를 이용하였다. C-RAN은 기저대역 신호를 처리하기 위해 사용하는 BBU를 중앙 집중식으로 배치하였다. 또한 Huawei의 Intelligent RAN은 AI 기술을 통신 네트워크에 적용하여 지능형 무선 인터페이스를 통하여 smart grid, scheduling dictionaries 등의 기저국의 무선 통신 자원 배분을 위한 핵심 기술을 사용한다. 또한 무선 자원의 효율적인 분배를 통하여 기저국 및 UE는 최적화된 데이터 용량 및 에너지 소모를 달성할 수 있으며, 이를 통하여 전체 네트워크 내부에서 에너지 소모를 감소시킨다.

[그림 3-23] Huawei의 Advanced C-RAN architecture

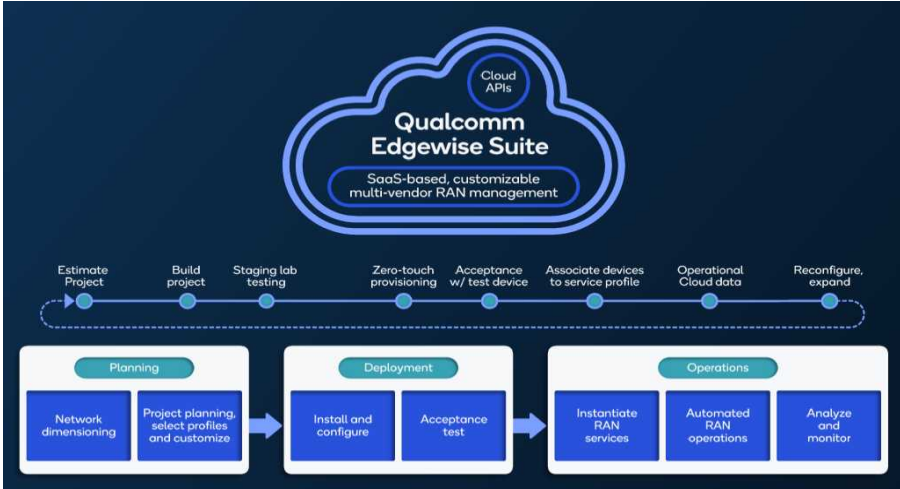


자료: Huawei(2017), p.4

5. 퀄컴(Qualcomm)

미국의 무선 통신 기업 Qualcomm은 AI 기반 C-RAN의 자동화 및 네트워크 관리 기술인 'Edgewise'를 통하여 RAN 에너지 효율을 향상하였다. [그림 3-24]의 Edgewise는 CU, DU 등 기지국 내 장치가 다수의 vendor에 의해 공급 및 운영되는 multi-vendor RAN 기술로, 다수의 vendor 중 가장 최적의 vendor를 선택한다. Edgewise는 RAN이 보유할 수 있는 총 데이터 용량을 유지함과 동시에 RAN에서 소모되는 에너지를 감소시켜 에너지 효율을 증가시킨다. 또한 network slicing 기법을 활용하여 실시간으로 네트워크의 상태와 트래픽 상황을 감시 후 동적으로 슬라이스 자원을 조절하고 할당하며, 이러한 자원 할당 최적화 방식을 기반으로 RAN의 에너지 소모를 최소화함과 동시에 에너지 효율을 증가시킨다. Edgewise는 기존 RAN, vRAN, Open RAN 등의 다양한 4G 및 5G 네트워크 시스템에 적용 가능하다. Edgewise는 세계적으로 30개 이상의 모바일 네트워크 사업자에 배포되어 에너지 효율성이 높은 5G 네트워크의 상용화에 기여하였다.

[그림 3-24] Qualcomm의 Edgewise

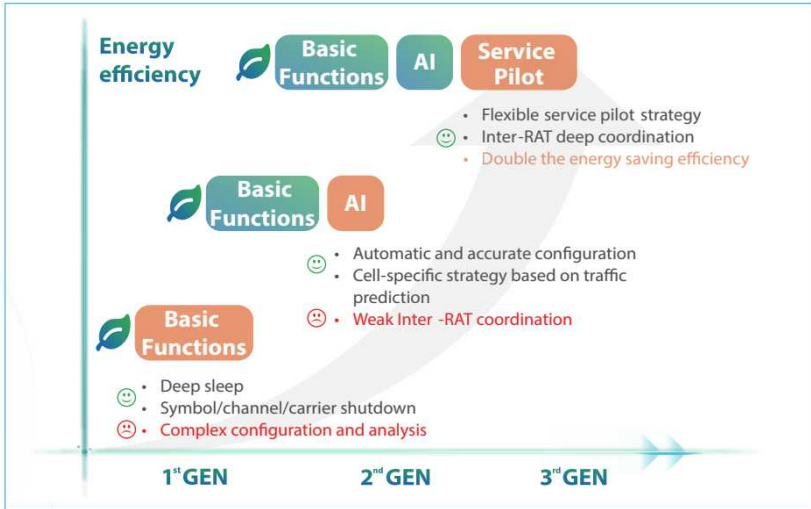


자료: Qualcomm EDGEWISE™ SUITE

6. ZTE

중국의 네트워크 통신장비 및 휴대기기 제조업체로 알려진 기업인 ZTE는 [그림 3-25]와 같이 전반적인 네트워크 에너지 효율성을 향상하기 위한 솔루션으로 ‘PowerPilot’을 발표하였다. PowerPilot은 다양한 서비스 유형의 에너지 효율성 차이를 활용하여 서비스 요구 사항을 지능적으로 평가함으로써 가장 에너지 효율적인 네트워크에 실시간으로 서비스를 제공할 수 있다. 이는 동일한 서비스라도 서로 다른 네트워크 또는 서로 다른 대역의 에너지 효율성 차이를 활용하여 특정 서비스를 가장 에너지 효율이 높은 네트워크/대역으로 전달하여 가장 최적의 에너지 소비 효율성을 달성한다. 또한 PowerPilot은 반송파 차단, 채널 차단 및 장비 최대 절전 등의 기본 에너지 절약 기능을 기반으로 에너지 절약을 가능하게 한다. ZTE의 네트워크 에너지 절약 솔루션은 60만 개 이상의 사이트가 있는 20개 이상의 네트워크에 배포되었으며, 에너지 비용을 10억 달러 이상 절감하였다. ZTE는 계속해서 더 적은 에너지 소비로 친환경적이고 효율적인 통신 네트워크를 구축을 위한 연구를 진행하고 있다.

[그림 3-25] ZTE의 PowerPilot solution



자료: ZTE(2020), p.7

7. SKT

한국의 통신 기업 SKT는 탄소 배출량을 극소화하는 넷제로(Net Zero) 프로젝트를 달성하기 위하여 그린 AI 분야 기술개발을 추진하였다. 그린 AI는 태양광, 풍력 등의 신재생에너지를 관리하는 가상발전소 기술개발, 통신국의 에너지 최적 제어기술 개발, 플라스틱 절감 및 다회용컵 사용 촉진을 위한 비전 AI 기술 개발 등이 포함된다. 가상발전소 기술의 핵심은 신재생에너지 발전 및 전기차, 에너지 저장 시스템, 에너지 관리 시스템 기술 개발 등이 있다. 가상발전소를 구축하고 운영하기 위하여 SKT는 인공지능 기술을 활용하였다. 생산이 일정하지 않은 신재생에너지의 발전량을 예측하거나, 전기차 충전 등을 하는 고객들의 전력 수요 예측의 정확도를 AI를 통하여 높일 수 있다. SKT는 본 기술의 개발을 위하여 SK 에너지, 한국전기연구원 등 다양한 공공기관 및 스타트업과 협업을 맺었다.

[그림 3-26] SKT Green AI



자료: SK텔레콤(2022)

제 4 장 Open RAN과 산업정책 분석⁸⁾

제 1 절 Open RAN의 중요성

Open RAN⁹⁾은 이동통신망의 구성요소 중에서 무선 접속망(RAN)¹⁰⁾의 표준을 non-proprietary¹¹⁾ 기반으로 개발하여 산업참여자 모두에게 개방하는 것을 의미한다. 현재는 이동통신사업자가 RAN을 구축하기 위해서 특정 장비 제조업체가 proprietary 기반으로 개발한 하드웨어와 소프트웨어를 일괄적으로 구매 설치해야 하나, Open RAN이 실현되면 RAN의 하드웨어와 소프트웨어를 누구나 생산할 수 있고, 이동통신사업자가 제조업체에 종속되지 않고 서로 다른 제조업체의 제품을 구입하여 망을 구성할 수 있다(여재현, 2023).

Open RAN은 이동통신 기술의 진화 과정 중 하나이며, 산업체의 자율적인 논의를 통해 표준화가 진행되고 있었다. 무선망의 개방형 인터페이스 및 모듈화는 디지털화(2G 이동통신) 이후 연구계·산업계에서 지속적으로 제기되던 이슈로, 4G 이동통신 이후 데이터 중심 서비스로 변모하고, 클라우드 컴퓨팅 등 인터넷

8) 제4장은 본 과제의 중간결과물인 KISDI Premium Report “오픈랜(Open RAN)과 이동통신 산업정책의 귀환”(여재현, 2023)을 토대로 일부 수정하여 작성하였음.

9) Open Radio Access Network: 개방형 무선 접속망.

10) 이동통신 시스템은 단말에 이동 환경을 제공하는 무선 접속망(Radio Access Network, RAN)과 단말 데이터를 처리하고 다른 망과의 상호 연결 등을 제공하는 핵심 망(Core Network, CN)으로 구성. RAN은 단말기와 기지국이 무선 접속 기술을 통해 연결된 망을 의미함(TTA 정보통신용어사전).

11) proprietary는 개발한 기술에 대한 지적재산권 기반 소유권을 주장하여 다른 주체가 사용할 수 없도록 하는 체제이며, non-proprietary는 지적재산권 기반 소유권을 주장하지 않아 해당 기술을 누구나 사용할 수 있는 체제를 의미함. 일반적으로 proprietary를 ‘독점적’, non-proprietary를 ‘비독점적’으로 번역하나 본 보고서에서는 시장 ‘독점(monopoly)’과 혼동의 여지가 있어 영어 그대로 사용함.

기반 기술의 발전에 따라 5G 이동통신 준비 과정에서 본격적인 논의가 시작된 것이다. Open RAN 논의는 주로 이동통신사업자 주도로 이루어졌는데 이는 망 구축 및 운용비용을 절감할 수 있는 기회가 될 뿐만 아니라, 네트워크 슬라이싱 등을 통해 5G의 특화 서비스를 제공하기 위해서는 망 구조의 변화가 필요했기 때문이다. 이에 2016년부터 TIP¹²⁾, O-RAN Alliance¹³⁾, ORPC¹⁴⁾ 등의 협의체를 통해 관련 사업자들이 협업 중이며, 3GPP¹⁵⁾도 표준 개발을 추진 중이다.

Open RAN이 자연스러운 기술 진화임에도 다시 주목받는 것은 미·중 갈등 국면에서 미국이 Open RAN을 이동통신 분야 산업정책의 대상으로 특정하여 이동통신 산업의 생태계를 전환하기 위해 적극적으로 추진하고 있기 때문이다. 미국은 이동통신 장비 산업이 중국과 유럽의 소수 사업자 중심의 과점적 시장이라 판단하고 있으며, 특히 중국 기업의 영향력은 미국의 경제와 국가안보 이익에 부합하지 않는다고 판단하고 있다. 트럼프 행정부가 중국 배제를 중점적으로 실행¹⁶⁾했다면, 바이든 행정부는 산업정책¹⁷⁾을 통해 중국의 배제와 더불어 자국 기업의 경쟁력 강화를 추진하고 있다. 특히 미국은 ‘인도-태평양 전략’ 차원에서 Open RAN

- 12) TIP: Telecom Infra Project. 2016년 2월 Facebook(현 Meta)의 제안으로 시작된 민간 협의체로 전 세계에 통신망 인프라를 구축하고 제공하기 위한 기술적 방법을 협의. 이중 Open RAN이 포함됨.
- 13) O-RAN Alliance: 2018년 2월 AT&T(미국), China Mobile(중국), Deutsche Telekom(독일), NTT DOCOMO(일본), Orange(프랑스) 등 주요국 5개 이동통신사업자에 의해 설립되었으며, 300여 개의 산업체가 참여하고 있는 가장 큰 Open RAN 민간 협의체.
- 14) ORPC(Open RAN Policy Coalition): 2020년 5월 미국 기업 주도하에 글로벌 31개 기업이 Open RAN 확산 정책을 촉진하기 위해 설립한 협의체(현재는 52개 기업 등이 참여).
- 15) 3GPP: 3rd Generation Partnership Project, 3G부터 이동통신 국제 표준화를 주도하고 있는 민간 기구.
- 16) Secure and Trusted Communications Networks Act of 2019, Secure 5G and Beyond Act of 2020, Clean Network 정책 등.
- 17) 바이든 취임 이후 통과시킨 산업정책 법안인 ‘인프라 구축법’, ‘반도체와 과학법’ 등에 이동통신 및 Open RAN 내용이 포함됨.

에 대해 주요 동맹국과 협력을 강화하고 있으며 2022년 5월 21일 한·미 정상 공동성명에서도 Open RAN에 대한 양국의 협력을 약속한 바 있다(여재현, 2023).

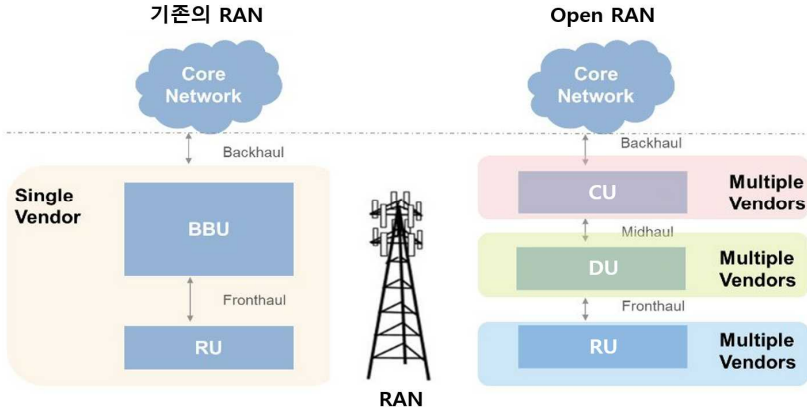
제2차 세계대전 이후 약 80년 만에 미국이 산업정책을 본격적으로 추진한다는 점에서 미국의 전략적 목적과 의도, 그리고 그에 대응하는 우리나라의 전략을 고민할 필요가 있다. Open RAN은 단순히 기술 발전에 따른 네트워크 장비시장의 주도권 경쟁이 아닐 수 있으며, 그동안 폐쇄적 구조였던 이동통신 네트워크 장비 및 서비스 산업생태계의 전환을 촉진하는 계기가 될 수 있기 때문이다. 이에 본 장에서는 Open RAN의 개념 및 시장 현황, 미국의 Open RAN 산업정책과 글로벌 전략으로서 추진 동향에 대해 살펴보고 시사점을 도출한다(여재현, 2023).

제 2 절 Open RAN의 개념 및 시장 현황

1. Open RAN의 개념

Open RAN은 RAN의 표준, 즉 RU, DU, CU의 하드웨어 및 소프트웨어 인터페이스와 Backhaul, Midhaul, Fronthaul의 인터페이스 표준을 non-proprietary 기반으로 개발하여 개방하는 것을 의미한다. 이를 통해 공개된 표준을 따른다면 Open RAN의 하드웨어와 소프트웨어를 누구나 생산할 수 있고, 이동통신사업자는 그동안 RAN을 동일 제조사(single vendor)에서 구입하던 구조에서 각 부분별로 복수의 제조사(multiple vendor)에게 구입할 수 있는 ‘벤더 다양성’을 구현할 수 있다(여재현, 2023).

[그림 4-1] 기존 RAN과 Open RAN 개념 비교



자료: MathWorks(<https://www.mathworks.com/discovery/o-ran.html>)에서
저자 일부 수정, 여재현(2023) 재인용

궁극적으로 Open RAN은 가상화(virtualization)¹⁸⁾까지 적용된 Open vRAN¹⁹⁾이 될 수 있는데 이는 이동통신 산업생태계의 주도권 전환을 가능하게 할 수 있다. DU와 CU가 가상화되면, 이동통신 특수 장비가 아닌 범용 서버로 구축하고 소프트웨어로 제어하는 환경이 된다. 특히 코어망(CN)도 네트워크 기능 가상화(NFV)²⁰⁾ 방향으로 발전하고 있어 고가의 특수 장비가 아닌 범용 서버로 구성 가능함에 따라 vRAN은 NFV의 확장 형태로도 볼 수 있다. 이 경우, 서버와 다양한 소프트웨어로 구성되어 있는 클라우드 플랫폼 사업자의 기존 네트워크와 기본적으로 큰 차이가 없어 이동통신망 생태계 주도권의 전환 가능성이 높아진다. 즉, Open RAN이나 Open vRAN을 통해 RAN 투자 및 운영비용이 낮아지고, 전체 망의 가상화 비율이 올라갈수록 이동통신사업자 중심의 생태계가 클라우드 플랫폼

18) 가상화: 전용 하드웨어 장비를 범용 하드웨어 장비로 변경하고 소프트웨어로 제어하는 방식.

19) Open virtualized RAN. vRAN은 RAN의 BBU 부분인 DU와 CU를 가상화함.

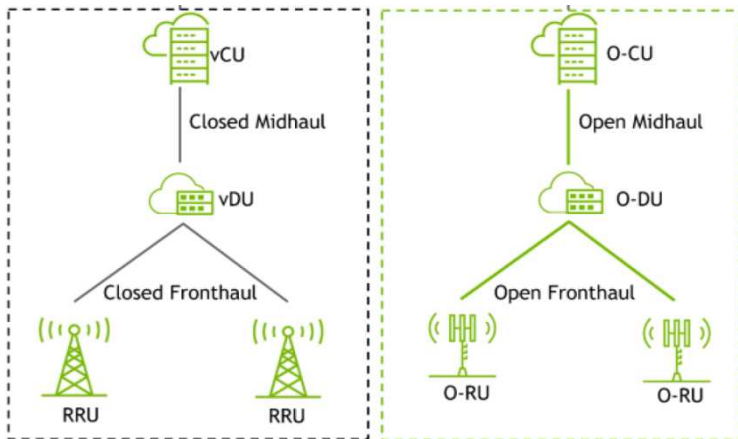
20) NFV: Network Function Virtualization으로 전용 네트워크 장비를 범용 서버로 교체할 수 있도록 전용 네트워크 장비 기능을 소프트웨어로 구현하는 방식.

품 사업자 중심으로 전환될 수 있는 것이다(여재현, 2023).

가. vRAN

이전 세대의 통신 시스템보다 효율적인 에너지 운용, 네트워크 용량의 동적 조절, 네트워크 자원의 효율적인 사용을 위해 5G에서는 vRAN을 도입하였다. vRAN은 가상화 원리(Virtual Network Functions, VNFs)를 사용하여 기존 하드웨어 플랫폼에서 RAN 애플리케이션 소프트웨어를 통해 분리시킨다. 분리된 RAN 애플리케이션 소프트웨어를 통해 vRAN은 서비스 사업자들의 비용을 절감시킨다. vRAN에서는 [그림 4-2]와 같이 기지국의 접속을 제어하는 집중 유닛(Centralized Unit, CU)과 기지국에서 받은 사용자의 신호를 전달하는 분산 유닛(Distributed Unit, DU)을 가상화하여 각각 가상 집중 유닛(virtual CU, vCU)과 가상 분산 유닛(virtual DU, vDU)으로 전환한다. vCU와 vDU 내 애플리케이션은 전용 하드웨어 대신 COTS(Commercial-Off-The-Shelf, 기성품으로 판매되는 소프트웨어) 서버에서 실행되는 VNF 또는 CNF(Cloud native network Function)로 배포된다.

[그림 4-2] 5G 이동통신 네트워크의 vRAN, Open RAN의 구조



주: vRAN의 구조(좌), Open RAN의 구조(우)

자료: Kundu et al.(2023), p. 2

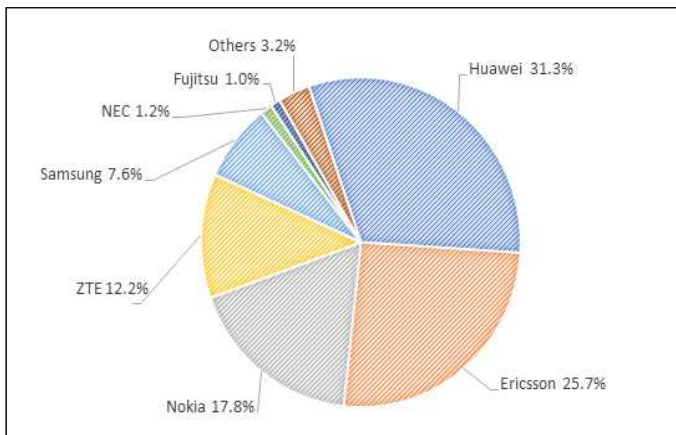
나. Open RAN

무선 통신에서 상업적인 이유로 단일 공급업체에서 다중 공급업체로 RAN의 공급자를 바꾸기 위해 Open RAN이 도입되었다. vRAN은 여전히 소프트웨어와 하드웨어 사이의 구성요소를 연결하는 독점 인터페이스를 갖춘 단일 공급업체의 폐쇄형 솔루션인 것에 반해, Open RAN은 구축 시 여러 공급업체로부터 공급이 가능하다. Open RAN은 기존의 DU, CU 노드 간의 인터페이스와 프로토콜을 오픈하여 이동통신망 장비 간의 상호운용성을 실현한다. 이를 통해 Open RAN은 vRAN과 달리 다양한 통신 공급업체가 개발한 벤더 장비의 조합을 가능하게 한다.

2. RAN 및 Open RAN 시장 현황과 전망

OMDIA(2023a)에 따르면 2022년의 전 세계 이동통신 네트워크 장비 시장 매출액은 481억 달러(약 63조 원)이며, 이 중 RAN 매출액이 453억 달러(약 60조 원)로 전체 매출액의 약 94%에 해당된다. RAN 시장에서 중국은 Huawei 1위(31.3%), ZTE 4위(12.2%)로 43.5%를 점유하고 있으며, 유럽은 Ericsson 2위

[그림 4-3] 전 세계 RAN 시장 업체별 점유율(2022년 기준)



자료: OMDIA(2023a) 수치 적용하여 저자 작성, 여재현(2023) 재인용

(25.7%), Nokia 3위(17.8%)로 43.5%를 점유하고 있다. 우리나라는 삼성전자가 7.6%를 점유하며 5위를 기록하였다(여재현, 2023).

OMDIA(2023b)에 따르면 2022년 Open vRAN 매출이 전체 RAN 시장 매출의 6.1%를 차지한다. 2025년부터 변곡점을 맞이하여 2026년 16.6%, 2027년 18.5%를 차지하는 등 향후 꾸준히 증가할 것으로 예상하고 있다. 2022년 매출 측면에서 주요 Open vRAN 공급업체는 삼성전자²¹⁾, Fujitsu, NEC, Mavenir, Rakuten Symphony 등이다(여재현, 2023).

Open RAN은 신규 이동통신사업자 중심으로 적극적인 구축이 추진되고 있으며, RAN과 CN을 모두 가상화하는 Open Cloud-native Network를 지향한다. 미국의 신규 이동통신사업자인 Dish는 AWS의 일반 클라우드와 연계하여 Open vRAN을 구축 중이며 2022년 6월까지 인구의 20%를 커버하는 망을 구축하였다. 독일의 신규 이동통신사업자인 1&1은 Rakuten Symphony와 협력하여 Open vRAN을 구축할 계획이다. 일본의 제4 이동통신인 Rakuten Mobile은 이미 기존의 4G 및 5G 망이 존재하나, 자회사인 Rakuten Symphony의 클라우드와 연계하여 전체 망을 open vRAN으로 구축 및 변경할 예정이다(여재현, 2023).

반면 기존 이동통신사업자는 Open RAN 적용이 기존 망과의 연동에 문제가 없어야 하므로 테스트 중이거나 소규모로 투자하고 있다. 독일 Deutsche Telekom은 노이브란텐부르크에 Open vRAN 25국을 설치하였으며, 미국 AT&T, Verizon 등은 Open RAN 테스트를 진행 중이며, Verizon은 2023년 내에 Open RAN을 설치할 계획임을 발표하였다(여재현, 2023).

21) 삼성전자는 proprietary vRAN을 우선 공급하다가 최근에는 Open vRAN 장비도 공급하는 것으로 알려짐.

제 3 절 미국의 Open RAN 산업정책 및 글로벌 전략

최근 들어 미국뿐만 아니라 전 세계적으로 산업정책이 경제정책의 주류로 자리 매김했으며 앞으로도 지속 증가할 것으로 예상된다. UN 산업개발기구의 보고서²²⁾에 따르면, 2009년부터 2019년 동안 전체 무역정책 중 산업정책의 비중이 2배 이상 증가(19% → 47%)하였고, WEF(World Economic Forum)의 설문 결과²³⁾에 따르면 경제 분석 최고 책임자(Chief Economists)의 3/4은 산업정책이 향후 3년간 경제정책에 대한 글로벌 접근 방식이 될 것으로 예상하고 있다. 산업정책의 부활 요인은 ① 최강대국 간 지정학적 긴장의 심화, ② 인프라 개발 등을 위해 강력한 공공 참여가 필요하다는 인식, ③ ‘자유 시장’ 정책의 신뢰성 하락 등²⁴⁾이다. 미국은 트럼프 행정부부터 중국과의 디커플링(decoupling)을 추진하였으며, 바이든 행정부에서도 법안 등을 통해 산업정책과 중국과의 디커플링을 더욱 강화하고 있다. 이에 본 절에서는 미국 바이든 행정부에서 펼쳐진 이동통신 및 Open RAN 관련 주요 산업정책과 ‘인도-태평양 전략’ 차원에서 추진되고 있는 동맹국 간 협력 강화 현황을 살펴보고자 한다(여재현, 2023).

1. 미국의 이동통신 RAN 산업 주도권 상실

이동통신 초기인 1990년대에 세계 최대의 통신장비 제조업체는 미국의 Lucent²⁵⁾이었다. 1990년대의 선도 제조업체는 미국의 Lucent, 유럽의 Ericsson, Siemens, 일본의 Fujitsu로 미국·유럽·일본이 세계 시장을 삼분하였다(여재현, 2023).

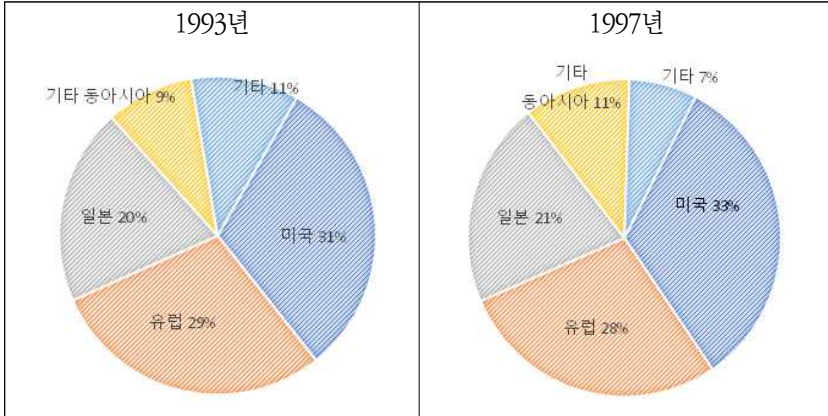
22) UNIDO(2023)

23) WEF(2023)

24) WEF(2023)

25) Lucent는 1999년 시가총액 기준으로 미국 전체 기업 중 여섯 번째로 큰 회사였음.

[그림 4-4] 1990년대 통신장비 시장 점유율



주: 기타 동아시아는 중국, 홍콩, 인도네시아, 한국, 말레이시아, 필리핀, 싱가포르, 태국, 대만 등

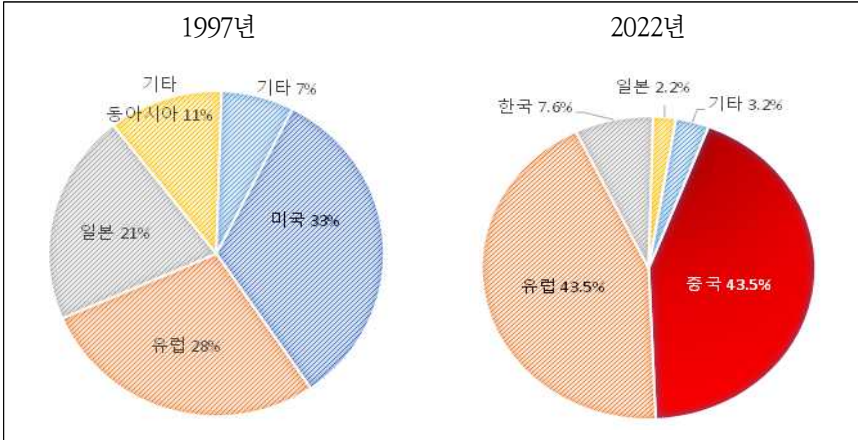
자료: U.S. ITC(1998), p.22 수치 적용하여 저자 작성, 여재현(2023) 재인용

2000년대 이후부터 미국은 주도권을 상실하고 유럽과 중국이 양분하는 시장으로 변모하였다. Lucent는 2000년대 들어 매출 하락과 중국 Huawei 등의 시장 점유율 잠식으로 프랑스 Alcatel에 인수 합병(2006년)되었으며, 이후 Alcatel-Lucent 또한 Nokia에 인수(2015년)되었다. 2000년대 초반은 3G 이동통신이 전세계적으로 도입된 시점이나, 기술의 불완전성 등으로 망 구축 및 서비스 제공이 지연²⁶⁾되었기 때문에 네트워크 장비시장이 불황이었다. 1997년과 2022년을 비교하면 미국과 일본의 시장 비중은 거의 사라지고 중국과 유럽으로 양분되었음을 알 수 있다. 5G 시대인 현재 미국 RAN 장비제조업체는 상위권에 없으며 중국과 유럽의 기업이 시장을 양분하는 등 미국은 이동통신 네트워크 시장의 주도권을 잃어버린 것이다. 미국은 유선 광대역 장비 업체의 경쟁력을 바탕으로 전체 통신 장비 매출의 16%를 차지하고 있으나, RAN 시장에서는 1% 미만을 차지²⁷⁾하는 등 어려운 상황이다(여재현, 2023).

26) 우리나라도 2000년에 3G 사업권을 부여했으나, 서비스가 개시된 것은 2006년임.

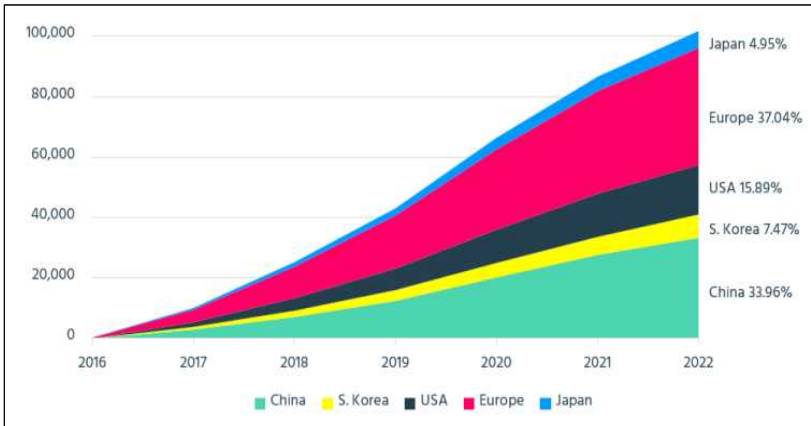
27) Pongratz(2023).

[그림 4-5] 이동통신 네트워크 장비 시장 국가별 점유율(1997년 vs. 2022년)



주: 2022년 자료에서 중국은 Huawei, ZTE, 유럽은 Ericsson, Nokia, 한국은 삼성전자, 일본은 NEC, Fujitsu의 점유율임
 자료: 1997년은 U.S. ITC(1998)의 통신장비 시장, 2022년은 OMDIA(2023a)의 RAN 시장 수치 적용, 여재현(2023) 재인용

[그림 4-6] 5G 표준에 반영된 특허 수의 국가별 점유율



자료: IPlytics Platform(2022), 여재현(2023) 재인용

5G 표준에 반영된 특허를 살펴보아도 5G의 주도권을 유럽과 중국이 양분하고 있어 향후 6G 시대에도 영향을 미칠 것으로 예상된다. 5G 표준 반영 특허 비율

은 유럽이 37.04%, 중국이 33.96%를 차지하고 있으며 미국은 15.89%²⁸⁾, 우리나라는 7.47%를 점유하고 있다(여재현, 2023).

미국은 이동통신 네트워크 산업에서 주도권을 잃게 되었음에도, 정부 차원의 아무런 조치도 취하지 않았고 자유 시장 정책을 견지하였다. 주도권 상실의 이유는 디지털경제 도래에 따라 인터넷 등 다른 혁신 산업으로 경쟁력이 이전되었기 때문이라는 의견도 있으나, 글로벌 자유 시장 체제에서 경쟁국(유럽²⁹⁾, 중국)이 산업 정책을 펼치고, 특히 중국이 ‘중상주의’ 수준의 공격적인 산업정책을 펴는 데 적시 대응하지 못한 것이 가장 큰 이유라는 의견³⁰⁾도 존재한다. 이에 미국은 미·중 갈등 속에서 중국의 배제와 더불어 자국의 이동통신 산업 경쟁력 확보를 위해 적극적인 산업정책을 추진 중이다. 특히 Open RAN의 경우 ‘인도-태평양 전략’ 차원에서 해당 지역 내 동맹국과의 긴밀한 협력을 추진 중이다(여재현, 2023).

2. 미국의 Open RAN 관련 산업정책 법안

가. 인프라 투자 및 고용법³¹⁾

「인프라 투자 및 고용법」(이하 인프라법)에 의해 통신 분야에는 미국 내 디지털 격차 해소 및 브로드밴드 인프라 확산을 위해 650억 달러(약 86조 원)를 투자할 계획이다. ORPC(Open RAN Policy Coalition), US Ignite³²⁾ 등 단체는 해당 투자에 무선 브로드밴드 구축을 위해 Open RAN에 대한 지원이 포함되어야 한

28) 미국의 특허 수는 상대적으로 적으나 반도체 칩셋 특히 비중이 높아 가치 측면에서는 1위라는 의견도 있음.

29) 미국의 이동통신 기술 표준은 사업자의 자율결정 사항이지만, 유럽은 규모의 경제와 자국 산업 보호를 위해 2G는 GSM, 3G는 UMTS(W-CDMA)로 단일 표준화함.

30) Atkinson(2020).

31) ‘인프라 투자 및 고용법(Infrastructure Investment and Jobs Act)’은 미국의 인프라 개선과 일자리 창출을 위해 1조 2,000억 달러(약 1,580조 원)를 투자하는 법안 (2021년 10월 통과, 2022. 5. 14 발효).

32) 미국의 브로드밴드 구축 촉진을 위해 백악관에 의해 2012년 6월에 설립된 비영리 민간협력체.

다는 의견을 제출하였고, 650억 달러 중 일부는 Open RAN에 투입될 것으로 예상되고 있다(여재현, 2023).

직접적으로 예산이 투입되지 않더라도 인프라 법에는 ‘바이 아메리카(Buy America)’ 조항³³⁾이 있어 연방 예산이 투입되는 인프라 구축에 미국산 제품 사용이 의무화된다. 이에 따라 미국 내에서 연방 예산이 지원되는 Open RAN을 구축하는 경우, 미국에서 생산한 제품만 활용해야 한다. 미국 내 산업계에서도 이 규정에 대해 우려를 표명하고 규정 적용의 유예 필요성을 주장하고 있으나, 바이든 행정부의 강력한 의지로 규정 집행이 강화되고 있다. 예를 들면 NTIA는 2023년 3월 16일 발표에서 사안별 승인을 통과한 기업에 적용하던 바이 아메리카 규정의 유예가 향후에는 유예 승인을 통과하는 것이 매우 어려워질 것이라고 밝힌 바 있다(여재현, 2023).

나. ‘반도체 및 과학법’의 ‘공중 무선 공급망 혁신 기금’

「반도체 및 과학법(CHIPS and Science Act)」³⁴⁾에 따라 ‘공중 무선 공급망 혁신 기금(Public Wireless Supply Chain Innovation Fund, 이하 혁신 기금)’에 15억 달러(약 1조 9,200억 원)의 예산이 지원될 예정이다. 해당 예산은 2022년도 예산 중 1.5억 달러(2031년 9월 30일까지 사용 가능)와 2023년도 예산 중 13.5억 달러(2032년 9월 30일까지 사용 가능)로 구성된다. NTIA는 혁신 기금의 구현 방안에 대해 이해관계자 의견을 수렴(2022년 12월 13일~2023년 1월 27일)하였다. 의견수렴을 위한 문서에 따르면 혁신 기금은 경쟁 촉진, 소비자 및 네트워크 사업자의 비용 절감, 글로벌 통신 생태계 전반의 혁신 지원, 5G 공급망 강화를 목표로 하고 있으며, 이를 위해 미국과 동맹국의 혁신적 기업, 특히 중소기업

33) 미국 연방 예산이 투입되는 인프라 사업(도로, 교통, 통신 인프라, 송전설비 등) 수행 시 사용되는 철강 및 건축자재 전(全) 공정이 미국에서 수행되고, 미국산 제조품(총 부품 비용의 55% 이상이 미국산)을 사용할 것을 규정함(산업통상자원부, 2023).

34) 2022년 8월에 법제화되었으며, 공중 무선 공급망 혁신 기금에 대한 예산 지원 외에 반도체 분야에 대한 약 527억 달러의 지원금과 첨단 시설 및 장비 투자에 대한 25% 세액 공제 등이 포함됨.

업이 소수의 공급업체가 지배하는 이동통신 네트워크 장비 시장에서 경쟁할 수 있는 기회를 열어주는 것을 목표로 하고 있다. 또한 네트워크 장비 공급업체 중 일부는 높은 보안 위험을 내포하고 있다고 기술하여 중국업체(Huawei 및 ZTE 등)의 보안 위험에서 벗어나는 것도 다른 하나의 목표임을 명시하고 있다(여재현, 2023).

의견 수렴 이후, 2023년 4월 12일 NTIA는 혁신 기금 지원 신청을 위한 1차 공고(Notice of Funding Opportunity, 이하 NOFO)³⁵⁾를 발표하였다. 1차 보조금 지원의 목적은 개방적이고 상호 운용 가능한 무선 액세스 네트워크(Open and Interoperable RAN)의 개발, 구축 및 채택을 가속화하는 노력에 자금을 지원하는 것이다. 1차 보조금 지원³⁶⁾에는 혁신 기금의 약 10%인 최대 1억 4,050만 달러(약 1,800억 원)를 제공할 예정이며, 기금 수혜자당 25만~5천만 달러(약 3억~600억 원) 범위에서 보조금을 지급할 계획이다. 보조금 이행 기간은 적격 법인이 보조금을 사용할 수 있게 된 날짜로부터 최대 5년까지로 제시하고 있으며 2023년 6월 2일까지 신청을 받고 보조금은 2023년 8월에 지급할 예정이다(여재현, 2023).

주목해야 할 부분은 신청자의 자격으로 지원금 혜택에서 중국 등 특정 국가의 단체(이하 개인 포함)가 배제된다는 것이다. 신청자는 영리 기업, 비영리 기업, 고등 교육 기관, 산업 그룹 및 둘 이상의 그러한 단체로 구성된 컨소시엄을 포함하나, 국가안보 등 용인할 수 없는 우려가 있는 신청은 승인하지 않으므로 신청자의 지배권에 대한 정보를 의무적으로 제출해야 한다. 특히 <표 4-1>에 해당되는 신청자는 무조건 부적격자로 판정됨에 따라 중국 단체 또는 중국의 통제를 받는 단

35) NTIA(2023)

36) 1차 지원의 주요 내용은 (1) 개방형 및 상호 운용 가능한 표준 기반 5G 무선 액세스 네트워크의 상호운용성, 성능 및 보안을 효과적으로 촉진하고 평가하기 위해 업계에서 인정하는 테스트 및 평가를 확장하는 방안, (2) 현재 업계 인정 테스트 및 모범 사례가 아닌 요소까지 포함하여 네트워크의 상호 운용성, 성능 및 보안을 테스트, 평가 및 검증하기 위한 테스트 방법론을 새로 개발하거나 실질적으로 개선하는 방안 등임.

체는 배제될 것으로 예상된다(여재현, 2023).

〈표 4-1〉 혁신 기금 배제 대상자

-
- 우려되는 외국 단체(A foreign entity of concern)³⁷⁾에 포함되는 경우
 - 국방부의 중국 군사 회사 목록(People's Republic of China Military Companies List)에 등재된 경우
 - 연방정부의 계약 배제 목록(System for Award Management(SAM) Exclusion List)에 등재된 경우
 - 상무부의 수출통제품목의 수출, 재수출, 이전이 금지된 해외 단체 목록(Bureau of Industry and Security's Entity List)에 등재된 경우
 - 재무부의 Non-SDN 중국 군산 복합 기업 목록(Non-SDN Chinese Military -Industrial Complex Companies, NS-CMIC List)³⁸⁾에 등재된 경우
 - '안전하고 신뢰할 수 있는 통신 네트워크법(Secure and Trusted Communications Act)'에 의해 연방통신위원회(FCC)가 작성한 국가안보에 용인할 수 없는 위험을 가한 통신장비 공급자 목록³⁹⁾에 등재된 경우
-

자료: NTIA(2023), p.11에서 발췌 정리, 여재현(2023) 재인용

다. 해외 비신뢰 통신 방지법

미국 하원은 2023년 4월 19일 「해외 비신뢰 통신 방지법(Countering Untrusted Telecommunications Abroad Act)」을 양당의 압도적 지지⁴⁰⁾로 통과시켰다. 법은 전 세계 국가들이 신뢰할 수 있는 통신장비나 서비스를 사용하도록 보장하는

37) '반도체와 과학법'에 의해 '반도체 인센티브 프로그램 자금'을 받을 수 없도록 지정된 우려되는 외국의 단체로, 미국 국가안보에 유해한 행위에 가담한 국가가 소유하거나 통제하거나 해당 국가의 관할권 또는 지시를 받는 단체로 정의됨.

38) 재무부의 SDN(Specially Designated Nationals and Blocked Persons) List에 등재되면 자산 동결 및 일체 거래가 금지되며, Non-SDN List의 경우 특정 거래가 금지됨. NS-CMIC에 등재된 기업의 경우 주식에 대한 투자만 금지하고 있음.

39) 중국의 네트워크 장비 제조업체 Huawei, ZTE와 통신사업자 China Mobile International USA, China Telecom(Americas), China Unicom(Americas) 등 10개의 법인과 러시아의 AO Kaspersky Lab 및 관련사 전문가 등재.

40) 찬성 410 대 반대 8로 하원 양당의 전폭적 지지를 받아 통과되었으나, 아직 상원의 의결과 대통령 인가 절차가 남아 있어 그 과정에서 입법화가 되지 않을 수도 있음.

것이 미국의 경제 및 국가안보 이익에 부합함을 강조하고 있고, 법의 목적은 미국의 국가안보와 이익을 보호하고 동맹국⁴¹⁾이 안보를 위한 중요한 조치를 취하도록 돕는 것으로 명시되어 있다. 이를 위해 동맹국이 Huawei와 ZTE(자회사 및 계열사 포함) 등 지정된 중국 사업자의 통신 네트워크 장비를 사용하고 있는지 등을 미 국무부가 조사해서 의회에 보고⁴²⁾하도록 의무화하였다(여재현, 2023).

〈표 4-2〉 국무부 보고서에 포함되어야 하는 주요 사항

-
- (1) 해당 국가의 5G 네트워크에 신뢰할 수 없는 통신장비 또는 서비스의 존재 여부
 - (2) 신뢰할 수 없는 통신장비 또는 서비스가 해당 네트워크에 존재하는 경우-
 - (A) 신뢰할 수 없는 통신 장비 또는 서비스를 사용하고 있는 이동통신사업자와 그렇지 않은 이동통신사업자
 - (B) 신뢰할 수 없는 통신 장비 또는 존재하는 서비스가 네트워크의 핵심(core) 또는 주변(periphery)에 있는지 여부에 대한 결정
 - (C) 신뢰할 수 없는 통신장비 또는 서비스를 신뢰할 수 있는 통신장비 또는 서비스로 대체하려는 동맹국 또는 개별 이동통신사업자의 모든 계획에 대한 설명
 - (3) **Open RAN 기술 또는 해당 기술의 후속 기술 또는 향후 6G 네트워크**에서 신뢰할 수 없는 통신장비 또는 서비스를 사용하려는 네트워크 운영자의 계획에 대한 설명
-

자료: 미국 하원 통과 법안(Congress.gov, 2023)에서 발췌 정리, 여재현(2023) 재인용

법안은 Open RAN도 조사 대상에 포함해 미국 및 동맹국의 Open RAN에서 중국을 배제하려는 의도를 명확히 드러내고 있다. 현행 5G 네트워크뿐만 아니라 Open RAN 또는 후속 기술, 향후 6G 네트워크까지 포함하여 중국 장비를 사용

41) 미국과 집단방위조약(상호방위조약 포함)을 맺은 국가로 우리나라 포함 53개국(과테말라, 그리스, 네덜란드, 노르웨이, 뉴질랜드, 니카라과, 덴마크, 도미니카 공화국, 독일, 라트비아, 루마니아, 룩셈부르크, 리투아니아, 바하마, 베네수엘라, 벨기에, 불가리아, 브라질, 스페인, 슬로바키아, 슬로베니아, 아르헨티나, 아이슬란드, 아이티, 알바니아, 에스토니아, 에콰도르, 엘살바도르, 영국, 온두라스, 우루과이, 이탈리아, 일본, 체코, 칠레, 캐나다, 코스타리카, 콜롬비아, 쿠바, 크로아티아, 태국, 터키, 트리니다드 토바고, 파나마, 파라과이, 페루, 포르투갈, 폴란드, 프랑스, 필리핀, 한국, 헝가리, 호주).

42) 법 발효 이후 180일 이내 및 그 이후 2년마다 보고.

하는 동맹국 및 이동통신사업자를 모두 파악하겠다는 계획이며, 향후 중국 장비의 대체 계획까지 파악하도록 하여 동맹국 및 해당국의 사업자에게 장비 대체를 압박할 계획이다. 중국 장비를 사용하는 동맹국이나 사업자에 대한 제재 조치는 법안에 명시되어 있지 않지만, 미국이 보유한 다른 유무형의 압박 및 제재 등이 예상⁴³⁾된다. 이를 통해 동맹국에서 중국산 장비의 미국산 장비로의 대체 및 신규 망 구축 시 미국산 장비 사용이 촉진될 것으로 예상된다(여재현, 2023).

3. 글로벌 전략으로서의 Open RAN

가. 인도-태평양 전략(Indo-Pacific Strategy)

미국이 중국에 대응하기 위한 주요 전략 중 하나인 ‘인도-태평양 전략’⁴⁴⁾에서도 Open RAN은 주요 요소로 자리매김하고 있다. 인도-태평양 전략의 목표는 더욱 연결되고 번영하며 안전하고 회복력 있는, 자유롭고(Free) 개방적(Open)인 인도-태평양으로 발전⁴⁵⁾시키는 것으로 10개의 핵심 이행 계획 중 ‘⑩ 개방적이고, 탄력적이며, 안전하고 신뢰할 수 있는 기술 지원’ 계획에 Open RAN이 포함되어 있다. 또한 Open RAN과 같은 혁신적인 네트워크 아키텍처를 포함하여 안전하고 신뢰할 수 있는 디지털 인프라(특히 클라우드와 통신 장비업체 다양성)를 진흥시킬 것임⁴⁶⁾을 명시하고 있다. 즉 Open RAN을 통해 통신장비뿐만 아니라 미국이 세계 최고 경쟁력을 갖추고 있는 클라우드 분야에서도 중국을 배제하고 진흥을 추진하겠다는 입장이다(여재현, 2023).

43) Bicheno(2023)

44) The White House(2022)

45) Advance a free and open Indo-Pacific that is more connected, prosperous, secure, and resilient(The White House, 2022).

46) We will promote secure and trustworthy digital infrastructure, particularly cloud and telecommunications vendor diversity, including through innovative network architectures such as Open RAN(The White House, 2022).

〈표 4-3〉 인도-태평양 전략의 10대 이행 계획

-
- ① 인도-태평양 지역에 새로운 자원 투입
 - ② 인도-태평양 경제 프레임워크 주도
 - ③ 전쟁 역지력 강화
 - ④ 강력하고 통합된 ASEAN의 강화
 - ⑤ 인도의 지속적 성장과 지역 리더십 지원
 - ⑥ Quad에서의 이행
 - ⑦ 한·미·일 협력 확대
 - ⑧ 태평양 제도 국가의 회복력 구축을 위한 협력
 - ⑨ 좋은 거버넌스와 책임 지원
 - ⑩ 개방적이고 탄력적이며 안전하고 신뢰할 수 있는 기술에 대한 지원**
-

자료: The White House(2022) pp.15-17에서 발췌 정리, 여재현(2023) 재인용

미국이 중국과의 전략적 대척점으로 Open RAN을 사용하는 것은 기술·산업적인 의미도 있지만, 정치적 수사로서 ‘Open(개방)’의 의미도 중요하기 때문이다. ‘Free and Open Indo-Pacific’이라는 ‘인도-태평양 전략’의 목표에서 알 수 있듯이 개방(Open)이라는 용어는 자유(Free)와 함께 사용될 정도의 정치적 문구로서 최상위 개념으로 Open RAN의 ‘Open’이라는 단어는 개방성과 함께 자유, 투명성, 민주주의 등의 가치를 전달⁴⁷⁾할 수 있어 중국 배제가 정당하다는 인식을 줄 수 있다(여재현, 2023).

나. Quad⁴⁸⁾를 통한 Open RAN 진흥 촉진

미국은 Quad를 ‘인도-태평양 전략’을 이행하는 주요 기구로 활용하고 있다. Quad는 인도-태평양 지역에서 경제 안보 이익을 공유하기 위해 미국, 일본, 인도, 호주 4개국이 구성한 ‘4자 안보 협의체’로 일본이 처음 제안하여 2007년 첫 실무자 회의를 개최하였으나 중단되었으며, 이후 2017년 반(反) 중국 연대로 다시 회의가 시작되었고 2021년부터 현재까지 5회의 정상회담(Leaders’ Summit)⁴⁹⁾

47) Plantin(2021)

48) Quad: Quadrilateral Security Dialogue.

49) 2021년 3월 24일(화상), 2021년 9월 24일(대면), 2022년 3월 4일(화상), 2022년 5

이 개최되었다(여재현, 2023).

Open RAN에 대해서는 Quad 내에서 별도로 ‘트랙 1.5 회담’⁵⁰⁾을 통해 민관 협력 기반으로 인도-태평양 지역에 개방적이고 안전한 통신 기술 확산을 추진 중으로 기술 방식이 동맹국 간 공유된 가치와 보편적 인권에 대한 존중에 의해 형성되도록 보장한다는 전제로 접근하고 있다. 또한 현재 5G 생태계에서 다양화를 추진하기 위해서는 정부의 역할이 필요하다는 점을 강조하고 있다(여재현, 2023).

〈표 4-4〉 Quad 정상 공동성명(2021.9.24.) 중 Open RAN 관련 주요 내용

-
- 기술의 설계, 개발, 관리 및 사용 방식이 **공유된 가치와 보편적 인권에 대한 존중**에 의해 형성되도록 보장하기 위해 협력을 구축
 - 다양한 파트너와 협력하여 **혁신을 촉진하고 신뢰할 수 있는 공급업체 및 Open-RAN과 같은 접근 방식**을 촉진
 - 5G 다양화를 위한 환경 조성에서 정부 역할을 인정하면서 민관 협력을 촉진
 - 국제전기통신연합(ITU)과 같은 다자간 표준화 기구에서 조정 및 협력
-

자료: The White House(2021)에서 발췌 정리, 여재현(2023) 재인용

우리나라는 Quad에 가입하지 않고 있으나 우리나라의 ‘인도-태평양 전략’⁵¹⁾에서 Quad와의 협력을 확대할 계획임을 밝힌 바 있다. 특히 Quad에서 Open RAN이 논의되고 있는 ‘신흥기술’ 분야도 협력 추진 분야에 포함되어 있다(여재현, 2023).

월 24일(대면), 2023년 5월 20일(대면) 등 화상 2회, 대면 3회.

50) Track 1.5 dialogue: 정부대표와 민간이 함께 참석하는 협의체.

51) 대한민국정부(2022).

〈표 4-5〉 우리나라의 ‘인도-태평양 전략’ 중 Quad 부분

쿼드(Quadrilateral Security Dialogue)와도 **협력의 접점을 확대**하고자 한다. 우리가 강점을 지닌 감염병, 기후변화, **신흥기술과 같은 분야에서 쿼드와 협력을 추진**하면서, 협력 기반을 점차 확대해 나갈 것이다. 이러한 노력은 역내 포괄적인 안보 위협과 도전에 대한 지역의 대응 역량을 강화하는 데 기여할 것이다.

자료: 대한민국정부(2022)에서 발췌 정리, 여재현(2023) 재인용

2022년 5월 21일 한·미 정상 공동성명에서도 Open RAN에 대한 양국의 협력을 약속한 바 있다. 공동성명에서도 ‘통신 보안’과 ‘사업자 다양성’이 미국이 지향하는 Open RAN의 핵심 목표임을 나타내고 있다. 즉 통신 네트워크 제조 시장에서 중국의 영향력을 배제하면서 유럽과 중국의 특정 사업자가 과점하고 있는 네트워크 제조 산업생태계를 경쟁 체제로 전환한다는 것이다(여재현, 2023).

〈표 4-6〉 한·미 정상 공동성명 중 Open RAN 부분

통신 보안과 사업자 다양성의 중요성을 인식하면서, 양 정상은 또한 국내외에서 **개방형 무선 접속망(Open-RAN) 접근법을 사용하여 개방적이고 투명하며 안전한 5G 및 6G 네트워크 장비와 구조를 발전시켜** 나가기 위해 협력할 것을 약속하였다.

자료: 대통령실(2022)에서 발췌 정리, 여재현(2023) 재인용

다. ORPC 주도의 민관협력

Open RAN Policy Coalition(오픈랜 정책연합, 이하 ORPC)은 Quad의 트랙 1.5 회담을 주관하고 있다. ORPC는 2020년 5월에 미국 및 동맹국 31개 사업자⁵²⁾가 창립하였고 현재는 52개 업체가 참여하고 있으며 암묵적으로 중국 업체는 참여를 배제하고 있다. O-RAN alliance가 업계의 사실상(de-facto)표준을 만드는 것을 목표로 한다면, ORPC는 Open RAN에 대한 정부의 정책적 지원 유도를 중점 추진하고 있다. 아직까지 ORPC는 전체 회원 중 75%가 미국 기업으로 미국

52) 2023년 7월 기준 52개 업체가 참여 중.

중심의 Open RAN 생태계 조성과 미국 혁신기업 경쟁력 제고에만 집중한다는 우려도 있다(여재현, 2023).

〈표 4-7〉 ORPC 회원 분류(국가별/업종별)

	통신 서비스	네트워크 장비	클라우드	소프트웨어	반도체	통신 인프라	민관협력 단체	합계
미국	5	11	7	7	7	1	1	39
일본	2	2						4
인도	2							2
영국	1							1
독일	1							1
핀란드		1						1
이스라엘			1					1
대만			1					1
싱가포르					1			1
한국 ⁵³⁾		1						1
합계	11	15	9	7	8	1	1	52

자료: ORPC 홈페이지 회원사 명단을 활용하여 저자 분류, 여재현(2023)

ORPC의 창립 배경은 Open RAN의 대표적 민간 기구인 O-RAN alliance에서 중국의 영향력에 대한 미국의 불신이며, 그에 따라 ORPC가 미국의 정책 구현 과정에서 민관 협력을 주도하고 있다. O-RAN alliance는 2018년 2월에 5개의 글로벌 이동통신사업자⁵⁴⁾가 설립하여 현재 300여 개의 업체⁵⁵⁾가 참여 중인 가장 큰 Open RAN 표준화 단체이나, 중국 China Mobile이 이사회 및 집행위원회의 영구 이사 및 위원이자 기술표준을 승인하는 기술운영위원회의 공동 위원장을 맡

53) 우리나라는 삼성전자 미국법인이 참여.

54) AT&T(미국), China Mobile(중국), Deutsche Telekom(독일), NTT docomo(일본), Orange(프랑스).

55) 32개의 이동통신사업자 Member와 288개의 Contributor 및 Academic Contributor 등 총 320개의 업체 및 연구소 등이 참여.

고 있다. 또한 다양한 업종의 중국 업체 다수가 참여 중이며 중국 군부와 관련이 있는 업체⁵⁶⁾도 많은 것으로 파악된다. 이에 미국 입장에서 O-RAN alliance는 중국의 영향력이 크게 작용하는 단체이며, ‘안전한’ 통신망 원칙에 맞지 않는다고 볼 수 있다. 장비제조업체의 선두주자 중 하나인 핀란드의 Nokia는 2021년에 O-RAN alliance 활동을 중단하였는데, 이는 미국의 배제 리스트에 등재된 중국 군부 관련 업체들이 O-RAN alliance에 참여하고 있어, 미국이 O-RAN alliance에 참여하는 기업에 불이익을 줄 수 있기 때문⁵⁷⁾으로 알려졌다(여재현, 2023).

56) Kindroid(칩 제조), Phytium(슈퍼컴퓨팅), Inspur(서버 제조) 등.

57) Cerulus(2021).

제 5 장 산업정책 성과에 대한 사례 분석

본 장에서는 그동안 펼쳐진 각국의 산업정책의 경제적 효과는 어떻게 평가받고 있는지 탐색하기 위해 선행 연구를 분석한다. 선행 연구 분석을 통해 산업정책의 긍정적/부정적 효과에 대해 구분하고, 긍정적 효과를 극대화할 수 있는 정책 방향 및 방안, 그리고 필요한 구성요소들을 시사점으로 도출한다. 이를 위해 주요국의 산업정책 사례에 대해 간략히 살펴보고, 산업정책의 성과에 대한 선행연구를 종합 분석하여 산업정책의 성공 요인을 도출하고자 한다. 이를 통해 최근의 주요국 산업정책에 대응하여 우리나라가 이동통신 네트워크 산업에서 취할 수 있는 산업정책 방안에 대해 시사점을 도출하고자 한다.

제 1 절 산업정책의 정의 및 경향

1. 산업정책 정의 및 근거

전통적으로 산업정책에 대한 합의된 정의는 존재하지 않으며, 선행연구들은 다양한 방식으로 산업정책을 정의하고 있다. 가장 전통적인 의미의 산업정책은 철강이나 자동차, 반도체, 조선업 등 주로 제조업을 촉진하기 위한 정부의 개입을 의미한다. 그러나 산업정책은 지역 기반 정책(Slattery and Zidar, 2020; Neumark and Simpson, 2015), 혁신정책(Mazzucato and Perez, 2015)으로 불리기도 하며, 개도국에서는 생산성 제고 정책(Fernández-Arias et al., 2016) 등으로 명명되기도 한다. 산업정책의 정의에 대하여 다양한 논의가 있었으나 가장 최근의 연구(OECD, 2022; Juhász et al., 2022; UNIDO, 2023) 등에 따르면 “국내 기업 및 경제의 구조적인 변화를 위해 정부가 시장에 개입하는 것”으로 정의할 수 있다. 이는 제조업 중심의 전통적 의미의 산업정책에서 한 걸음 더 나아가 서비스

업과 특정 부문의 연구개발을 포함하는 시장 개입을 의미한다.

산업정책은 일반적으로 1) 산업 전략과 2) 정책 도구의 두 가지 핵심 요소로 구성되어 있다.⁵⁸⁾ 산업 전략은 장기적인 관점에서 산업정책의 방향과 목표를 제시하는 것으로 경제가 어떻게 구조적으로 변화해야 하는가를 제시한다. 구체적인 형태로 산업의 성장, 생산성 향상, 현대화, 산업화가 주로 고려되었으며, 최근에는 탈산소, 디지털화 등이 산업정책의 목표가 되고 있다. 산업 전략은 목표와 유형에 따라 다양한 최적 정책조합을 구성해야 하며 정책 도구 선택의 근거를 제시해야 한다. 정책 도구는 산업 전략의 목표를 실행하기 위해 상대가격이나 자원 배분에 영향을 미치는 활동으로 구체적으로 수출에 대한 보조금, 수입 관세, 세제혜택, 연구개발(R&D), 금융지원 등을 고려해 볼 수 있다.

산업정책의 경제학적 근거는 주로 외부효과 및 시장실패와 관련이 있다. 정부가 보조금, 세금 혜택 등을 통해 긍정적 외부효과를 발생시키는 기업이나 산업을 육성하여 사회의 효율을 극대화할 수 있으며, 시장 실패 문제를 정부의 개입을 통해 극복할 수 있다. 즉 법과 질서, 적절한 규제, 인프라와 같은 공공재를 정부가 적절하게 제공함으로써 사회의 효율성을 극대화할 수 있다.

산업정책에 대한 이론적 근거가 명확하지만, 정부개입을 통한 산업정책에 두 가지 반론이 존재한다(UNIDO, 2023). 시장실패는 정부개입의 근거를 제공하지만, 정부는 시장실패가 언제, 어디서, 어느 정도의 크기로 사회 후생을 저해하는지에 대한 정확한 정보를 얻기 어렵기 때문에 정확한 판단을 내리기 어려우며, 정부가 정확한 정보를 가지고 있다고 하더라도, 로비와 정치적인 이해관계 등으로 적절한 산업정책이 시행되기 어렵다고 주장한다.

산업정책의 필요성에 관한 주장은 실증분석 결과를 바탕으로 제기되어 왔다. 산업정책 옹호자들은 일본, 한국, 대만, 중국과 같은 국가들의 초고속 성장을 사례로 산업정책의 필요성을 주장한다. 그러나 산업정책의 반대자들은 라틴아메리카나 아프리카 수입대체전략의 실패 사례를 바탕으로 산업정책이 불필요함을 주장

58) 구체적인 산업전략과 정책도구에 대한 내용은 OECD(2022)를 참조.

하며, 동아시아의 성공은 산업정책이 없었더라도 가능했을 일이라고 주장한다.

2. 산업정책의 변화와 최근의 경향

산업정책은 1930년대 대공황과 세계대전을 거치면서 정부의 개입이 필요하다는 인식하에 적극적으로 시행되었다. 산업화는 경제발전의 필수적인 요소이며, 정부의 개입으로 시장실패를 극복하여 산업화를 이룰 수 있다는 인식이 주가 된 것이다. 당시 산업정책 수단으로는 주로 유치산업 보호와 국유화 등이 활용되었다.

1980년대 이후 신자유주의의 부상으로 정부실패가 시장실패보다 심각하다는 인식이 확산하면서 산업정책에 대한 무용론이 대두되었다. 작은 정부에 입각하여 무역자유화, 해외직접투자가 성장 및 산업화를 이끈다는 인식이 확산하였으며, 이러한 신자유주의 흐름에 따라 전 세계는 탈규제, 민영화, 세계화, 자유화가 정부정책의 핵심기조로 부상하였다. 미·중 갈등이 첨예화되기 이전까지 미국에서는 산업정책을 주장하는 측을 ‘공산주의자’라고 비난할 정도로 산업정책에 부정적이었다. 이에 미국의 동맹에 해당하는 자유 진영, 특히 선진국이 산업정책을 수행하는 것에 대해 WTO 등 국제기구를 활용하여 무역 제재를 가했다. 자유진영의 선진국이 산업정책을 가벼이 여기는 동안 중국은 직접적인 보조금 지급 등 산업정책을 통해 G2로까지 성장하게 되었으며 이후 지속가능한 성장과 이를 위한 경제 및 산업구조의 개편을 위해 정부의 개입이 필요하다는 인식이 미국과 서유럽 국가에도 확산되었다. 2017년 미국의 트럼프 정부 출범 이후 자국 우선주의에 따라 다양한 관세 및 비관세 정책이 시행되었고, 미·중 갈등 과정에서 산업정책을 꾸준히 시행하고 있는 중국에 대응하기 위해 미국뿐만 아니라 영국, EU, 일본 등 선진국이 선제적으로 자국 산업 보호를 위한 산업정책을 시행하게 되었다.

이러한 정책 환경 변화 속에서 산업정책이 국가 경제에 미치는 영향을 이해하는 것이 매우 중요한 과제로 부상하였고, 특히, 대외의존도가 높은 한국의 경제 특성상 무역정책의 변화로 인해 산업이 직접적으로 큰 영향을 받을 가능성이 높아 중요성이 더욱 커지게 되었다. 또한 무역정책의 영향으로 경제 전반에 대한 불확실

성이 확대되고 이것이 금융시장의 불안, 소비 및 투자의 위축으로 이어질 수 있으므로 산업정책으로 인한 변화를 이해하는 것이 무엇보다 중요한 과제이다.

전술한 바와 같이 UN 산업개발기구의 보고서⁵⁹⁾에 따르면, 2009년부터 2019년 동안 전체 무역정책 중 산업정책의 비중이 2배 이상 증가(19% → 47%)한 것으로 나타났다. 2010년 이후 전 세계 국가들의 산업정책 시행 횟수는 지속해서 상승했으며, 특히 2018년과 2019년에 급격한 증가세를 보였다. 특히 고소득 국가가 저소득 및 중소득 국가보다 평균적으로 5배 이상(95개 vs. 18개)의 산업정책을 시행하는 등 선진국이 주도함에 따라 국가별 격차가 더 심해지는 것으로 나타났다. 실제로 2008년 세계금융위기, 2018년 미·중 무역분쟁, 코로나19를 거치면서 자국 산업을 보호한다는 명분 아래 무역정책 수단을 중심으로 다양한 산업정책이 다시 주목받게 되었다. 2008년 세계 금융위기 이후 지속 가능한 성장과 이를 위한 경제 및 산업구조의 개편을 위해 정부의 개입이 필요하다는 인식이 확산된 것이다.

가. 미국

미국의 대표적인 산업정책은 금융위기 이후 자국 산업 보호를 위한 관세 및 보조금 정책을 들 수 있다. 2008년 세계금융위기를 지나면서 대규모 금융지원과 감세 인프라 건설을 통해 제조업 육성을 시도하였고, 금융위기 이후에도 제조업 경쟁력 강화를 도모하였다. 구체적으로 금융위기 이후 자동차산업에 대한 대대적인 구제 금융을 지원하였고, 청정에너지 산업에 정부의 투자와 세제 지원이 이루어졌다. 이 과정에서 자동차산업이 희생하였고, 다수의 기업이 미국으로 생산시설을 이전한 것으로 나타났으나 이것이 산업정책의 결과인지는 분명하지 않으며, 일부의 연구자는 선별적인 산업정책보다는 연구개발 및 노동력에 대한 투자와 금융건전성 및 불공정 거래 철폐가 더 중요하다고 주장하고 있다.

또한 미중 갈등 국면에서 미국은 2017~2019년 중국 수입품에 대한 대규모 관

59) UNIDO(2023).

세를 부과하여 자국 산업을 보호하고자 하였으며, 코로나로 인해 자국의 물자확보와 기술력 유출을 우려하여 수출 통제로 이어졌다. 2022년에는 인플레이션과 안보 및 기후 위기 등에 대한 대응 목적으로 반도체, 전기차나 배터리 산업 등에 대한 세제 혜택을 통해 자국 산업을 육성하고 글로벌 공급망을 선도하려는 정책을 시행하였다. 반도체의 경우 「반도체 지원법(CHIPS)」을 통해 미국 내 반도체 생산 및 연구개발에 지원금과 세액 공제 혜택을 제공하며, 지원금 수혜기업이 중국 등 미국의 안보를 위협하는 특정 국가에서 생산을 금지하도록 하였다. 한편 「인플레이션 감축법(IRA)」을 통해 전기차나 배터리를 미국 내에서 생산하는 경우에만 세제 혜택을 주어 기업들의 미국 이전을 유도하는 정책을 시행하였다.

최근 미국의 산업정책은 수평적 정책이 아닌 고부가 가치 산업에 대한 선별적 정책으로 중국과의 경쟁에서 글로벌 공급망을 선도하기 위한 목적으로 평가되고 있다.

나. 중국

중국은 개혁·개방 이후 지속해서 산업정책을 시행하고 있으며, 최근에는 시장 친화적 환경을 조성하는 데 목적을 두고 산업정책을 시행하고 있다. 1980년대부터 2000년대 초반까지 시장경제를 구축하는 과정에서 기초공업과 기간산업의 경쟁력을 강화하였고, 첨단산업 육성을 위한 산업정책을 시행하였다. 2002년부터 2012년까지는 첨단 기술산업과 에너지 및 친환경 산업 등 신흥산업 발전을 강조하였고, 첨단기술산업 발전을 도모하였다. 2013년부터 산업의 고도화를 추진하였으며, 2015년에는 2025년까지 IT, 항공우주 장비, 바이오의약 등 고부가 가치 산업의 강국을 목표로 하는 ‘중국제조 2025’ 전략을 시행 중이다. 2015년 중국은 자동차, 철강, 가전 등에서 세계 1위의 제조업 대국으로 도약하였으나, 핵심기술의 발전 속도가 더뎠다. 저기술, 저부가가치 제품의 생산이 주를 이루었다. 이에 ‘중국제조 2025’라는 제조업 육성정책을 발표하였고, 2025년까지 IT, 로봇, 항공우주장비, 바이오의약 및 고성능 의료기기, 친환경 자동차 등 고부가 가치 산업을 중심으로 제조업을 육성하고 있다. 여기에 사물과 산업에 인터넷을 연결해 산업고

도화와 부가가치를 높이려는 시도를 하고 있다. ‘중국제조 2025’는 스타트업 부문에 재정지원이나 세제 혜택을 주되, 시장기능의 강화와 공평한 시장 환경을 조성하는 등 이전 시기의 산업정책에 비해 시장 친화적 환경을 조성하는 것이 특징이다.

다. 독일

2010년을 전후로 독일은 새로운 성장전략과 제조업의 구조 전환을 위해 인터스트리 4.0(Industry 4.0) 전략을 수립 및 시행하고 있다. 독일은 제조업 중심의 성장전략이 한계에 이르고, 다양한 혁신에도 생산성이 크게 상승하지 않자 센서, 빅데이터, 인공지능 등의 기술을 생산과정에 도입하는 것을 시도하였다. 미래 사회의 다품종, 소량 생산을 위해 플랫폼 산업을 발전시키고, 이 과정에서 중견, 중소기업에 최신 기술을 도입, 확산시키는 것에 정부가 금융이나 공동연구를 지원하고 있다. 독일 산업정책의 특징은 대기업이 인터스트리 4.0에 참여할 뿐만 아니라 중소기업, 벤처기업의 참여를 적극적으로 유도하여 산업의 네트워크화에 따른 혜택을 누릴 수 있도록 하는 시도가 이루어지고 있는 것이다.

라. 일본

일본은 고령화 등의 사회문제를 기술로 해결하는 한편, 미래 산업의 새로운 발전전략 방향이 담긴 소사이어티 5.0을 시행 중이다. 독일의 인터스트리 4.0이 4차 산업혁명을 산업정책으로 적용하였다면, 일본의 소사이어티 5.0은 4차 산업혁명으로 나타날 사회에 로봇이나 인공지능, 첨단 의료기기 등의 첨단기술을 접목한 것이다. 일본은 생산가능인구의 감소와 고령화로 인한 생산성의 하락과 사회문제를 과학기술을 통해 동시에 해결하려는 목표를 가지고 해당 정책을 추진하고 있다. 독일의 정책과 유사하게 특정 산업이나 제품이 아닌 여러 서비스와 제품이 포함되는 첨단산업을 성장시키려는 정책이라는 점에서 과거 특정 산업이나 제품 중심의 산업정책과는 차이점이 있다.

마. 시사점

최근 주요국의 산업정책은 첨단 고부가가치 산업을 육성하고자 한다는 점에서 공통점을 갖고 있다. 각 국가가 산업정책을 시행하는 목표는 자국 산업 보호, 글로벌 가치사슬, 사회문제 해결, 경제성장 등 조금씩 차이가 있다. 그러나 고부가가치 산업인 IT, 친환경, 에너지, 인공지능 등과 같은 산업을 육성하기 위한 정책이라는 점에서 공통점을 갖는다 할 수 있다. 따라서 산업정책의 변화와 이것이 경제에 미치는 영향을 이해하는 것이 매우 중요한 과제로 부상하였다. 특히 대외 의존도가 높은 한국의 경제 특성상 무역정책의 변화로 인해 산업이 직접적으로 큰 영향을 받을 가능성이 크다. 또한 무역정책의 영향으로 경제 전반에 대한 불확실성이 확대되고 이것이 금융시장의 불안, 소비 및 투자 위축으로 이어질 수 있기 때문에 산업정책으로 인한 변화를 이해하는 것이 무엇보다 중요한 과제이다. 이에 본 장에서는 산업정책에 대한 선행연구를 국가 패널이나 시계열 모형을 바탕으로 일반화된 정책의 효과를 실증 분석한 연구와 빅데이터 또는 미시 데이터를 바탕으로 특정 목표를 바탕으로 시행된 정책의 효과를 분석한 연구로 나누어 살펴본다.

제 2 절 산업정책의 사례 분석

본 연구에서는 경제성장, 산업 보호 등의 목적을 바탕으로 산업정책의 효과를 장기간 추적한 연구와 특정 목적을 가지고 산업정책 수단을 활용한 사례(event study)로 구분하여 서술하였다. 먼저, 시계열이나 패널 모형을 바탕으로 연구개발 보조금, 조세 지원 등의 정책이 국가 경제에 미치는 영향을 분석한 연구를 살펴본 후, 특정 시기에 특정 목적을 바탕으로 수행한 산업정책의 효과를 실증 분석한 연구를 살펴보고자 한다.

1. 산업정책의 일반적인 효과 추정 연구 분석

산업정책의 효과에 관한 연구는 사례연구와 계량 분석으로 나눌 수 있다. 사례

연구의 경우 개별 기업이나 프로젝트가 미친 영향을 상세하게 분석할 수 있다는 장점이 있으나, 산업정책의 효과를 일반화할 수 없다는 단점이 있다. 반면, 계량 분석의 경우 산업정책 수단을 정의하고, 정책 수단의 변화가 경제의 생산성, 생산량, 고용 등에 미친 영향을 양적으로 분석할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 계량적 분석에 초점을 맞추어 선행연구를 분석하였다. 산업정책의 효과를 계량적으로 분석하는 연구는 크게 1) 산업정책으로 연구개발 투자에 대한 보조금의 효과 분석, 2) 관세 및 보조금을 활용한 통상정책의 효과 분석으로 나누어 볼 수 있는데 각 연구결과는 산업정책의 효과에 대해 상반된 입장을 보이고 있다.

가. 산업정책을 긍정적으로 평가한 결과

Lawrence and Weinstein(2001)은 1963년부터 1983년까지 무역의 자유화, 보조금 등의 산업정책이 일본의 총요소생산성에 미치는 영향을 실증 분석하였다. 일본의 사례에서 무역의 자유화를 통한 수입의 증가는 경쟁을 통한 혁신을 촉진하고, 이것이 성장으로 이어짐을 주장하며, 자유 무역을 통해 동아시아 국가들의 더 빠른 성장을 이룩할 수 있음을 주장하였다.

Wieser(2001)는 1962년부터 2000년까지 수행되었던 17개 연구의 추정 결과에 대한 메타분석(meta analysis)을 실시하였고 분석 결과 기업의 연구개발 지출과 총요소생산성(또는 생산액)과 양의 상관관계가 있음을 확인하였다. 또한 연구개발 활동의 사회적 수익률이 사적 수익률의 2배 이상으로 나타나 연구개발이 양의 외부효과가 있음을 주장하였고, 대부분의 연구개발 활동은 산업간 파급효과가 산업 내 파급효과보다 더 큼을 보였다.

Guellec and Pottelsberghe(2004)의 연구는 1980년부터 1998년까지 OECD 16개국의 총요소생산성과 기업 및 정부 연구개발의 관계를 오차수정모형(ECM)을 활용하여 분석했다. 해당 연구에 따르면 기업 및 정부 연구개발이 총요소생산성에 통계적으로 유의하게 양의 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Gual and Jódar-Rosell(2006)는 1992년부터 2000년까지 EU 11개국의 패널 자료를 바탕으로 분석한 결과 제조업 부문에서 국가보조금이 생산성 향상에 긍정

적인 영향을 미치는 것을 확인하였다.

우지에·허찬국(2018)은 1995년부터 2014년까지 사업체 패널자료를 활용하여 관세율과 기업 단위 총요소생산성의 관계를 분석하였다. 분석 결과 관세율 인하는 기업의 총요소생산성에 긍정적 효과가 있으며, 관세 인하의 긍정적 효과는 300인 이상의 사업체에서 더 크게 나타났다.

김원규(2020)는 연구개발과 생산성의 관계를 확인하기 위해 1999년부터 2018년 OECD 36개국 패널자료, 1976년부터 2017년 한국의 시계열자료, 2003년부터 2016년 한국 산업별 패널자료를 활용하여 분석하였다. OECD 패널분석 결과, 정부 연구개발 지원이 기업의 연구개발 활동을 촉진하며, 자본집약도와 기업의 연구개발 집약도가 장기적으로 노동생산성을 향상시키기 때문에 정부의 연구개발에 대한 지원이 필요함을 주장하였다. 한국의 시계열 분석 결과 정부의 연구개발 예산이 기업의 연구개발을 촉진하는데, 기업의 연구개발 활동이 총요소생산성을 향상시키므로 정부의 연구개발을 위한 예산이 총요소생산성을 향상시킬 수 있음을 주장하였다. 한국의 산업별 패널에서도 같은 결과를 얻었는데, 상대적으로 제조업보다 서비스업의 총요소생산성 향상 효과가 더 크기 때문에 서비스업에 대한 정부의 연구개발 지원이 중요할 수 있음을 주장하였다. 아울러, 6T⁶⁰⁾ 기술별 정부 연구개발 투자와 국내외 특허출원 간의 관계를 추정된 결과에서 정부 연구개발투자가 IT와 ET의 해외 특허출원에 대한 긍정적 효과가 상대적으로 작아서 연구성과의 질적 수준 제고를 위한 정책적 노력이 필요함을 강조하였다.

나. 산업정책을 부정적으로 평가한 결과

Krueger and Tuncer(1982)는 63년부터 76년까지의 데이터를 활용하여, 터키가 유치산업 보호를 위해 수입대체전략을 활용한 산업의 성장을 분석하였다. 분석 결과, 유치산업 보호를 위해 수입대체전략을 활용한 산업의 생산량이 급격하게 증가하지 않았으며 이는 유치산업의 보호가 효과가 없음을 의미한다고 주장하였다.

60) IT(정보기술), BT(생명공학 기술), NT(나노기술), ST(우주항공기술), ET(환경 기술), CT(문화기술).

World Bank(1993)은 아시아 8개 국가(한국, 일본, 홍콩, 싱가포르, 대만, 중국, 인도네시아, 말레이시아, 태국)의 가파른 성장을 분석하였는데, 산업정책이 아시아 8개국의 급격한 성장을 설명할 수 없다고 주장하였다. 특히, 그들이 취했던 선별적 정책은 오히려 시장의 질서를 위배하며, 선별적 산업정책의 효과를 실증적으로 분석하기 어렵기 때문에 산업정책을 성공의 원인으로 보는 것에는 무리가 있음을 주장하였다.

Beason and Weinstein(1996)은 1955년부터 1990년까지 일본의 보조금, 관세, 세제 혜택 등의 산업정책이 산업별 성장에 미치는 영향을 실증 분석하였는데, 일본의 산업정책은 지원 산업의 생산성과 자본축적에 유의한 긍정적인 영향을 미친다는 증거를 발견할 수 없었다.

Lee(1996)는 1963년부터 1983년까지 한국의 38개 산업에 대한 패널 자료를 활용하여 산업정책과 보호무역이 산업의 성장에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과 보호무역은 한국의 노동생산성과 총요소생산성을 감소시키며, 보조금이나 조세 지원과 같은 정책은 총요소생산성과 통계적으로 유의한 관계를 갖지 않음을 주장하였다.

Rouvinen(2002)은 1973년부터 1997년까지 OECD 12개국의 14개 산업에 대한 불균형 패널자료를 활용하여 연구개발에 대한 지출이 총요소생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과 연구개발에 대한 지출은 약 4년의 시차를 두고 총요소생산성을 향상시키는 것으로 나타났으나, 연구개발에 대한 지출이 생산성에 미치는 영향을 시간의 흐름에 따라 일반화하기 어렵다고 결론짓고 있다

Silaghi et al.(2014)은 1998년부터 2008년까지 유럽의 10개국을 대상으로 1인당 GDP와 민간부문 및 정부부문 연구개발의 관계를 추정하였고, 추정 결과 민간부문의 연구개발은 장, 단기에 모두 1인당 GDP를 증가시키는 것으로 나타났으나, 정부부문의 연구개발은 1인당 GDP에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

산업정책의 효과에 대한 실증연구들은 다음과 같은 한계를 가진다. 먼저, 산업정책에 대한 효과를 분석하는 실증연구들은 주로 수입 관세나 정부 보조금의 영

향을 분석하는데, 이는 산업정책의 한 요소일 뿐이며, 산업구조 변화에 대한 포괄적인 정책을 수량화하는 것은 현실적으로 어렵다. 또한 정부의 개입 효과가 생산성이나 투자, 수출 등에 미치는 영향을 주로 분석하지만, 이는 산업정책의 효과에 대한 일부분이며, 산업구조와 시장실패에 어떠한 영향을 미쳤는지에 대해 판단하기 어렵다. 또한 시기에 따라 정책의 수단과 조합이 달라져 산업정책에 대한 일관성이 있는 데이터를 얻기 어렵다. 특히 실증분석가들이 초점을 맞추고 있는 보조금 등 자금지원은 데이터 제한으로 추적하기 어려운 한계가 있다.

2. 자국 산업 보호를 위한 산업정책 사례 연구 분석

가. 미국의 세탁기 산업 보호를 위한 정책

Flaen et al.(2020)은 자국의 세탁기 제조 산업을 보호할 목적으로 2012년과 2016년 한국과 중국에 부과했던 반덤핑 관세와 2018년 세이프가드 관세가 미국의 세탁기 시장에 미치는 영향을 실증분석하였다. 미국에서는 2006년 월풀(Whirlpool)이 주요 경쟁사인 메이테그(Maytag)를 인수한 후 미국 전체 매출의 60%를 차지하였고, 수입 세탁기의 매출 비중은 대략 10%에 머물러 있었다. 그러나 해당 시기에 한국의 삼성과 LG가 미국 가전제품 시장에 진출하기 시작하였고, 미국 내 점유율이 꾸준히 증가하였다. 삼성과 LG의 미국 내 점유율이 꾸준히 증가하자 월풀은 2011년 미국 국제무역위원회(USITC)에 반덤핑 청원서를 제출하였고, 2012년 USITC는 기업별로 9.3%에서 82.4%까지 관세 부과를 조치하였다. 삼성과 LG가 생산기지 이전을 통해 관세에 대응하자, 미국은 다시 2015년 USITC에 중국산 세탁기에 반덤핑 관세 부과를 청원하였고 최종적으로 삼성에 52.5%, LG에 32.1%의 관세가 부과되었다. 이에 한국기업은 다시 태국과 베트남으로 생산기지를 이전하여 대응하였고, 결국 첫 수입 세탁기 120만 개에 관세율 20%, 추가되는 모든 단위의 수입 세탁기에 50%의 관세가 부과되는 세이프가드 조치가 2018년 발효되었다. 결국, 삼성과 LG는 관세를 피하고자 2018년 미국에 공장을 열었고, 미국 내 생산을 시작하였다. 2012년과 2016년 한국 및 중국산 세

탁기에 부과된 관세는 한국의 기업이 생산기지 이전을 통해 대응하여, 미국의 세탁기 수입량에 영향을 미치지 못하였으며, 세탁기의 소비자 물가지수는 거의 변화하지 않았거나, 오히려 하락하는 결과가 나타났다.

실증분석 결과, 관세의 변화가 소비자 가격에 전가되는 정도인 가격의 관세 탄력성은 양의 값을 갖으나, 그 값이 매우 작았고, 다른 재화(냉장고, 식기세척기)와 비교했을 때 가격의 변화가 거의 같았다. 또한 2012년 반덤핑 관세 부과 조치 이후 세탁기의 소비자 물가지수는 약 5% 하락하였으며, 2016년 중국 제품에 반덤핑 관세가 부과된 이후에 세탁기의 소비자 물가지수는 이전과 거의 같게 유지되었다. 그러나 2018년 세이프 가드 조치 이후에는 소비자 가격의 관세 탄력성이 대조 그룹(냉장고, 식기세척기)보다 약 12% 높아, 이전의 조치와 달리 관세 탄력성이 높아졌음을 확인하였다. 추정 결과에 따르면, 미국 세탁기 브랜드의 가격 인상 등을 고려했을 때, 세이프 가드 조치로 108~225% 범위의 관세가 소비자에게 100% 이상 전가되었다. 관세로 인하여 세탁기와 의류 건조기의 중간 가격이 각각 86달러, 92달러 상승한 것으로 나타났으며, 이에 따라 연간 15억 달러 이상의 소비자 비용이 증가하였다. 이에 비해 징수된 관세수입의 총액은 연간 8,200만 달러로 상대적으로 작았으며, 약 1,800명의 고용을 증가시킨 이 정책은 창출된 일자리당 81.5만 달러의 비용을 초래한 것으로 나타났다(삼성은 미국 공장 건설로 약 1,000개의 일자리를 창출하고, LG는 약 600개의 일자리를 창출할 것으로 발표하였으며, 월풀은 관세로 인해 200명을 추가 고용했다고 발표하였음). 미국의 세탁기 산업 보호를 위한 정책은 한국의 세탁기 공급망의 변화를 가져왔는데, 2010년부터 2016년까지 한국의 세탁기 부품 수출은 60% 증가하였으며, 해당 기간에 한국은 완제품 기준 세탁기 수출보다 수입이 더 많은 국가로 전환되었다.

이들의 연구는 산업정책이 어떤 조건에서 목적을 달성할 수 있는지에 대한 시사점을 제시한다. 보호하는 산업의 특수성과 기존 생산 네트워크의 구조가 중요한 역할을 하는데 한국에서 중국으로, 중국에서 태국·베트남으로 생산기지를 전환하는 동안 삼성·LG는 다른 제품을 생산하는 기존의 공장을 활용하여 미국의 정책적 변화에 대응하였고, 이는 시장에 거의 변화를 주지 못하였다. 대조적으로, 미국에

생산기지가 없었기 때문에 삼성·LG가 이에 대응하는 시간이 길어졌다. 따라서 생산기지의 재배치와 시기는 수입 관세의 규모, 시행 시기 및 지속 기간에 대한 기대치에 따라 달라질 수 있다. 또한 세탁기 산업의 경우 중간 정도로 집중된 시장이기 때문에, 관세에 따라 수입업체와 비슷한 수준으로 국내 업체가 가격을 인상하는 과점기업의 행동을 나타내었다. 새로운 관세가 적용되는 산업의 집중도가 낮거나 높으면 생산자가 어떠한 대응을 하는지에 따라 산업정책의 효과가 달라질 수 있으므로 정책 당국은 정책 시행의 이러한 점을 고려해야 한다. 실제로 미국 월풀의 경우, 시장 점유율에는 단기적으로 큰 변화가 없었는데 이는 2018년 세이프 가드 관세 조치 이후 과거(2016년 정책)와는 다르게 수입 제품과 비슷하게 가격이 상승한 것이 하나의 요인이 될 수 있다.

나. 미국의 타이어 산업 보호를 위한 정책

Hufbauer and Lowry(2012)는 미국이 2009년 중국산 타이어에 대규모 관세를 부과한 효과를 분석하였는데, 관세의 목적인 자국 타이어 산업 보호와 일자리 창출 효과가 미미했음을 주장하였다. 중국산 타이어에 대한 관세 부과로 인해 아시아와 멕시코에 있는 타이어 수출업체들이 가장 큰 수혜를 입었으며, 소비자들은 이전보다 높은 가격을 지불해야 하는 결과를 낳았다. 중국 제품에 대한 관세 부과로 글로벌 공급망에 변화가 발생하였고, 중국산 타이어의 대체품을 생산하고 있던 아시아와 멕시코 국가들의 수출이 증가하여 반사이익을 누렸다. 또한 관세로 인하여 중국산과 비중국산 타이어의 가격이 일제히 상승하여 소비자들은 오히려 이전보다 높은 가격을 지불해야 했다. 한편 중국산 타이어 관세 부과에 대해 중국이 미국산 치킨에 대한 보복관세로 대응하여 미국 치킨업체들의 수출이 급감하였다. 결국, 관세 부과로 인하여 타이어 부분의 일자리를 지켜냈으나 소비자들은 더 높은 비용을 지불하게 되었고, 치킨 수출기업은 매출 감소를 경험하여 관세 부과가 사회적 순손실을 발생시켰다. 가계는 매년 10억 달러 이상의 초과 비용을 지불해야 했고, 타이어 제조업 부분의 일자리 창출은 치킨 부분의 일자리 감소와 상쇄되어 사회적 순손실을 발생시킨 것이다. Hufbauer and Lowry(2012)는 차라리 10

억 달러의 세금을 징수하여 인프라 개선에 활용하였다면 더 많은 일자리를 창출하여 경제적 효과가 더 높았을 것이라고 주장하였다.

3. 자국 산업육성을 위한 산업정책 사례 연구 분석

가. 우리나라의 중화학 공업 성장을 위한 산업정책

1) Kim et al.(2021)

Kim et al.(2021)은 우리나라의 중화학 공업 성장을 위한 자세 및 보조금 정책에 대해 평가하였다. 해당 연구는 마이크로 데이터를 활용하여 1973년부터 1979년까지 자세 혜택을 통해 새로운 산업단지를 건설하고, 중화학 공업을 육성한 정부의 정책을 평가한 것이다. 박정희 정권은 1973년 북한의 군사적 도발과 일본의 성공 사례를 바탕으로 중화학 공업에 대한 육성정책을 시행했다. 구체적인 산업 육성정책으로 철강, 조선, 석유화학 등 중화학 공업에 대한 실효세율을 감면하였다. 또한 1969년부터 1983년까지 9개 산업단지를 정부 주도하에 육성하였고, 이들 지역은 농촌 오지에서 산업단지로 급속히 변화하였다. 그러나 1979년 박정희 대통령의 사망으로 이러한 정책의 노선이 중단되었으며, 1980년 새 정권은 ‘안정’과 ‘민간 주도 성장’을 슬로건으로 정책적 변화를 채택하였다. Kim et al.(2021)의 연구는 1967년부터 1987년까지의 광공업 및 제조업 통계 조사자료를 활용하여 육성 산업과 육성 지역의 생산성 변화를 통해 산업정책의 효과를 실증 분석하였다. 해당 데이터는 광공업 및 제조업 분야에서 최소 5명 이상의 근로자를 고용하는 모든 사업장을 대상으로 하며, 총생산량, 고정자산, 직원 수, 총임금, 중간 투입비용 및 지역에 대한 정보가 포함된다.

실증분석 결과 1973년 이후 시행된 중화학 공업 육성 정책은 육성 산업과 지역에 상당한 양의 자원이 투입되었으나 산업과 지역의 총요소생산성을 증가시켰다는 결론을 얻을 수 없었다. 그러나 총요소생산성을 단순 평균으로 계산할 경우, 생산성의 비약적인 향상이 있었는데, 이는 자원 배분의 비효율성으로 존재했음을 추론할 수 있다. 이는 산업정책에 있어 자원 배분의 효율성이 담보되어야 함을 나

타낸다. 중화학 공업 육성 정책 추진 이후 상위 10%의 기업이 해당 산업 및 지역에서 차지하는 비중이 비약적으로 상승한 것으로 나타났는데 대상 지역과 산업의 상위 10% 기업이 창출하는 부가가치 비율이 1968년 65%에서 1978년 93%로 상승하였으나, 여타 산업과 지역에서는 그 수치가 약 82%로 유지되었다. 같은 기간 대상 지역과 산업의 고용 및 자본 투입 집중도도 1968년 53%, 65%에서 1987년 각각 81%, 95%로 급격히 상승하였으나, 여타 산업과 지역에서는 그 비율이 70%와 83%로 일정하게 유지되었다.

이러한 결과는 소수의 재벌에게 자원이 집중되어 생산성 향상 효과가 고르게 나타나지 않았음을 추론해 볼 수 있다. 소수의 재벌이 육성 산업과 관련해 새로운 사업을 시작하고, 같은 그룹 내의 다른 사업 단위에 자금을 지원하고 보조금을 지급함으로써 자원 배분의 비효율성을 초래하였으며, 이 과정에서 정부가 일부의 기업에 특혜를 제공하는 정부실패가 나타났다. 자원 배분이 소수의 기업에 집중되면서, 육성 산업과 지역의 자원 투입 대비 생산성 향상 효과는 미미했고, 경험적 결과에 따르면 자원 배분의 비효율성이 개선되었을 경우 연간 총요소생산성이 약 2.8% 더 상승했을 것으로 추정되고 있다. 또한 육성 대상산업과 지역의 고용자 수가 증가하였으나, 사업장 수에는 큰 변화가 없었는데, 이는 평균적인 사업체의 규모가 커졌음을 의미한다. 산업정책으로 육성 대상과 지역의 사업체 규모가 커져 규모의 경제가 실현될 수 있음을 추론할 수 있다. 또는, 산업정책에 의한 보조금을 통해 더 현대적인 생산기술을 도입할 수 있고, 이것이 사업체의 규모를 증대시킬 수 있음을 의미한다.

투입-산출 분석을 통해 산업정책의 효과를 분석한 결과에 의하면, 육성 산업의 규모가 커짐에 따라 전체 산업에서 차지하는 비중이 증가하였고, 다른 산업에 더 저렴한 중간 투입물을 제공하여 비육성 산업의 성장에 기여한 것으로 나타났다. 1970년 육성 산업의 중간 투입물 중 15%를 육성 산업에서 생산했지만 1980년에는 이 비율이 약 29%로 상승하였고, 비육성 산업에 공급한 중간 투입물도 1970년 10%에서 1980년 15%로 상승하여 비육성 산업의 성장에 기여했음을 확인할 수 있다. 또한 비육성 산업의 산업 승수⁶¹⁾가 1970년과 1980년 사이 큰 차이가 없

었던 반면, 육성 산업의 산업 승수는 통계적으로 유의하게 증가하였고, 이것이 1990년대까지 안정적으로 유지되어 산업정책의 영향이 지속되었다. 1973~1979년 사이 육성 산업의 수출이 연평균 39% 증가하였고, 비육성 산업의 수출도 연평균 25% 증가하여, 육성 산업이 비육성 산업에 더 저렴한 중간 투입물을 제공하여 비육성 산업의 수출성장을 도왔음을 추론할 수 있다.

결론적으로 한국의 중화학 공업 육성 정책은 육성 산업의 규모와 생산량, 노동 생산성을 향상시켜 육성 산업과 지역의 성장을 견인하였다. 이는 육성 산업뿐만 아니라 육성 지역을 조성하여 산업정책을 시행하는 것이 유의미할 수 있음을 시사한다. 그러나 소수 기업에 지원이 집중되어 총요소생산성의 향상을 견인하지 못했는데, 이는 자원 배분의 개선을 통해 산업정책의 효과를 향상시킬 수 있음을 의미한다. Aghion et al.(2011)은 산업정책은 그 혜택이 집중될 때 정책의 효과가 더 낮아짐을 주장하였는데, 소수의 기업에 집중된 혜택을 다수의 기업에 나누어 자원 배분의 비효율이 개선되면 산업정책의 효과가 더 크게 나타날 수 있음을 시사한다.

2) Lane(2022)

Lane(2022)도 1973~1979년 한국의 중화학 공업 육성 정책을 실증 분석하였는데, 산업정책으로 인해 한국의 중화학 공업이 성장하였음을 주장하였다. 1973년부터 1979년까지 시행된 한국의 중화학 공업 육성 정책이 경공업 중심의 한국 경제를 어떻게 변모시켰는지 실증분석을 수행하였다. 1970년대 한국은 대외적인 정치 상황으로 군수산업 성장의 필요성을 느꼈으며, 이에 맞춰 수평적인 경공업 수출 중심 전략에서 전략적으로 중요한 일련의 중공업 육성으로 전략을 전환하였다. 해당 연구는 중공업 육성 정책 전후 대상산업(targeted industries)과 비대상 산업(non-targeted industries) 제조업의 성과를 비교하여 산업정책의 효과를 추정하였다. Lane(2022)에 따르면 산업정책 이후 중화학 공업의 생산은 비대상

61) 해당 연구에서 산업 승수는 해당 산업의 생산성 1% 증가가 경제 전체 부가가치에 미치는 영향을 의미함.

산업보다 100% 이상 증가하였고, 노동생산성은 60% 이상 높아져, 산업정책이 유효한 효과를 나타냈음을 주장한다. 중화학 공업의 성장은 비대상 산업의 축소로 인한 것이 아니며, 한국의 산업정책은 고용 성장, 수출증대로 이어졌으며 생산성 향상이 산출물 가격의 인하로 이어졌다. 1979년 정책의 중단 이후에도 중요소생 산성의 증대가 이어졌으며, 이는 중화학 공업 투자의 긍정적 외부효과나 learning by doing, 지식의 파급효과 등과 관련이 있을 것임을 주장한다. 한국의 산업정책은 중화학 공업이 수출에서 장기적인 비교우위를 촉진하여 한국 수출의 구조적인 변화를 이끌었다. 1973년 산업정책 이후 중화학 공업이 세계 시장에서 비교우위를 달성할 가능성이 13% 더 높아졌고, 중화학 공업 제품은 같은 기간 동안 다른 제조업 수출보다 30% 더 증가하였다. 또한 산업정책은 하류 산업(downstream industry)의 발전에 긍정적인 영향을 미쳤다. 산업정책 시행 중 대상산업과 강한 관련성을 가진 하류 산업이 확장되었으며, 하류 산업에 속한 수출업체들의 수출이 증가하였다. 1979년 이후에도 전방연관효과가 지속되어, 하류 산업의 성장이 지속되었으며, 이를 통해 산업정책이 전방산업에 대한 공급 측면의 효과를 통해 발현되었을 가능성이 있다. 결론적으로 Lane(2022)은 한국의 산업정책은 중화학 공업 분야의 발전을 촉진했으며, 광범위한 파급효과를 가져와 장기적으로 산업에 지속적인 영향을 미친 것으로 확인되었음을 주장한다. 다만, Lane(2022)의 연구는 산업정책의 경제적 효과만 분석한 것으로 산업정책 시행에 대한 비용과 자원 배분은 고려하지 않았다.

3) Choi and Levchenko(2023)

Choi and Levchenko(2023)는 1970년대 중화학 공업정책으로 보조금을 받은 기업과 그렇지 않은 기업의 성과를 비교하여 한국의 산업정책 효과를 분석하였다. 실증분석 결과에 따르면 1970년대 일시적으로 지원되었던 보조금이 30년이 지난 2009년까지 매출에 통계적으로 유의한 영향을 미친 것으로 나타났다. 1973년부터 1979년까지 보조금을 받은 기업은 1982년부터 2009년까지 매출액 증가율이 12%p 높아졌으며, 수출의 성과가 향상되었다. 이러한 매출의 증가는 산업의 경쟁

감소보다는 생산성 향상에 따른 것으로 보인다. 또한 보조금 정책으로 상류 시장 기업도 정책의 혜택을 본 것으로 나타났다.

또한 이질적 기업 모형(heterogeneous firm model)을 통해 후생을 분석하였고, 산업정책이 비용보다 더 큰 편익을 창출하여 후생을 증대시켰음을 주장하였다. 모형의 결과에 따르면 산업정책을 시행하지 않았다면 한국의 후생은 7~12% 더 낮았을 것으로 추정된다. 이러한 후생 증대는 장기적인 학습효과에 따른 생산성의 증대에 기인하며, 상류 기업의 이익도 학습효과에 기인하는 것으로 나타났다. Choi and Levchenko(2023)는 산업정책의 장기적 효과에 주목했는데, 보조금을 지원받은 기업뿐만 아니라 보조금을 지원받은 기업의 상류 시장(upstream market) 기업도 정책의 혜택을 보았으며, 산업정책이 장기적으로 비용보다 더 큰 편익을 발생시켰음을 주장했다.

나. 루마니아의 IT 산업 육성을 위한 산업정책

Manelici and Pantea(2021)는 루마니아의 IT 산업 육성을 위한 소득세 정책에 대해 분석하였다. 소득세율이 높은 국가인 루마니아는 IT 부문의 발전을 위해 2001년 소득세 체계를 개편하였고, 2013년 세제 혜택을 확대하였다. 2001년 개혁 이전 루마니아의 개인 소득세는 18~40%로 누진세율을 보였고, IT 부문의 순급여 비율은 68%로 경제 전체의 75%에 비해 낮아 과세 부담이 높은 상황이었다. 2001년에는 조례를 통해 IT 분야 프로그래머의 소득세를 전면 면제하였고, 2013년에는 대상 기업과 근로자를 확대하였다.

Manelici and Pantea(2021)는 2001년과 2013년 소득세 개편이 기업과 산업 전체에 미친 영향을 실증 분석하였으며, 국가 경제의 관점에서 비용 편익 분석을 실시하였다. 먼저, 2001년 소득세 개편의 영향을 평가하기 위해 1997년부터 2005년까지 기업에 대한 데이터를 통해 세제 개편이 IT 기업의 수익, 고용, 자산에 미친 영향을 평가하였다. 분석 결과에 따르면 2001년 소득세 개편과 2013년 적용 확대로 IT 기업의 수익과 고용이 증가하였고, 자산의 규모가 확대되어 소득세 개편으로 IT 기업의 규모가 전반적으로 확대되었음을 확인할 수 있다. 2001년

소득세 개편의 효과를 분석하기 위해 세금 혜택을 받은 IT 기업과 혜택을 받지 못하는 첨단기술 집약적 기업의 성과를 비교하였는데 비교 결과 소득세 개편 이후 혜택을 받은 기업은 그렇지 않은 기업에 비해 영업 이익이 24% 더 높고, 근로자는 13%, 자산은 12% 더 많은 것으로 나타났다. 2013년 소득세 확대 적용의 효과를 분석하기 위해, 개편된 소득세를 적용받는 근로자의 비율이 20% 이상인 기업과 5% 미만인 기업의 성과를 비교하였는데 분석 결과 2015년에 혜택을 받는 기업은 그렇지 않은 기업에 비해 수익이 20% 더 많고, 근로자는 10%, 자산은 17% 더 많았음을 확인하였다.

또한 Manelici and Pantea(2021)은 2001년 세금 감면의 도입 효과를 IT 산업의 관점에서 실증 분석하였는데 이를 위해 2000년과 2015년 루마니아 IT 산업을 비교하고, 루마니아의 IT 산업과 비교할 수 있는 중동부 유럽 국가들의 IT 산업 성장과 비교하였다. 추정 결과에 따르면 2015년 루마니아 IT 부문의 총수입과 고용은 2000년에 비해 6.52배와 1.83개 증가하였는데, 이는 다른 산업과 비교하면 예외적인 수치로 소득세 면제 혜택을 시행하지 않은 국가에서는 재현될 수 없는 수치인 것으로 나타났다. 또한 세금 감면의 경제적 효과를 측정하기 위해, IT 부문을 집약적으로 활용하는 산업과 그렇지 않은 산업으로 구분하여 산업의 성장을 비교하였는데 추정 결과 IT 산업을 집약적으로 활용하는 기업이 그렇지 않은 기업에 비해 총수입 측면에서 75%, 고용 측면에서 61% 더 높은 성장을 기록하였다. 또한 IT를 집약적으로 활용하는 산업의 수출이 증가하였는데, 이는 산업정책으로 인해 루마니아의 비교우위 산업에 변화가 있었음을 나타낸다. 그리고 IT 산업의 발전으로 IT를 더 집약적으로 활용하는 산업의 성장을 유발하는 긍정적 외부효과가 있음을 추론할 수 있다. 마지막으로 줄어든 세수와 기업의 수익을 비교하였는데, 2013년 세제 확대 개편으로 감소한 유로당 기업의 추가 수입은 7유로이며, 3.7유로의 자산을 추가로 축적하여 기업에 대한 직접적 이익이 정부에 대한 비용보다 크다는 것을 시사한다.

Manelici and Pantea(2021)의 연구는 기존의 연구개발 보조금이나 연구비 지원, 관세 등의 전형적인 산업정책과 달리 경제성장에 중요하다고 목표로 설정한

산업에 대한 개인 소득세 개편이라는 특수한 정책이 경제에 미친 효과를 실증 분석하였다는 데 의의가 있다. 소득세 감면이라는 흔하지 않은 산업정책이 지식기반 산업인 IT 산업의 성장을 이끌었으며, 루마니아가 가진 STEM 부문의 잠재적 비교우위가 소득세 감면을 통해 발현되었음을 나타낸다. 또한 IT 산업정책을 통해 IT뿐만 아니라 IT를 집약적으로 활용하는 산업의 성장을 견인하여 긍정적 외부효과를 주고 있음을 보였다. 이상의 결과는 육성하고자 하는 산업에 집중적인 자원 투입을 통해서 질 좋은 일자리의 창출이 가능하며, 외부효과를 통해 연관산업의 성장을 견인할 수 있음을 의미한다.

4. 미·중 무역분쟁의 영향에 대한 사례 연구 분석

2018~2019년 미·중 무역분쟁은 상호관세를 인상하여 약 4,500억 달러의 무역 흐름에 영향을 미쳤고, 이러한 정책은 세계 무역장벽을 낮추려는 흐름을 뒤엎었으며, 연이어 발표된 「반도체 지원법」이나 「인플레이션 감축법」은 자국 산업의 보호와 육성을 동시에 하려는 목적을 갖는 것으로 보인다. 해당 정책의 효과는 미국과 중국의 무역 흐름을 감소시켰으며, 관세 인상은 현재까지 지속되고 있다. 세계화의 전환점 같은 이러한 현상은 미국과 양국의 무역 흐름에만 영향을 미친 것이 아니고, 주변국의 수출 흐름에도 상당한 영향을 미쳤다. 여기에서는 미국과 중국의 무역분쟁 흐름이 촉발한 경제적 영향을 중심으로 선행연구들의 실증분석 결과를 분석한다.

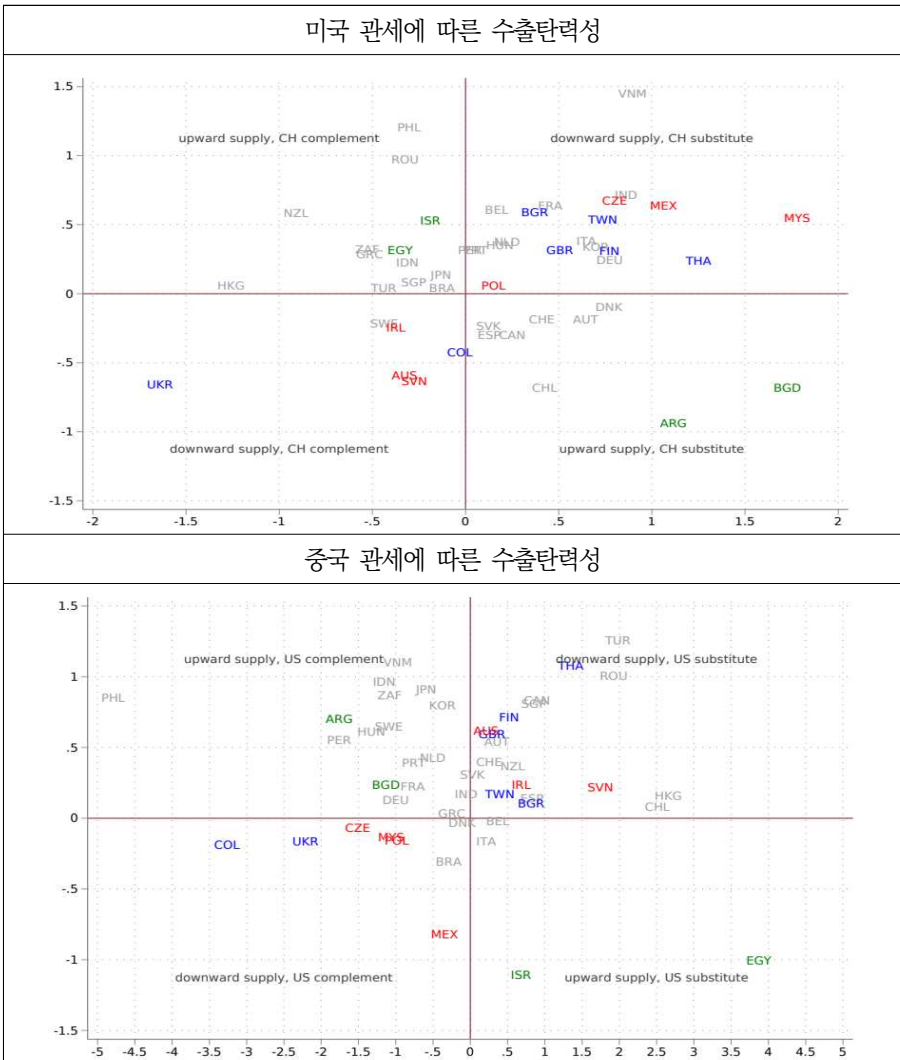
가. Fajgelbaum et al.(2023)

Fajgelbaum et al.(2023)은 미국과 중국의 관세 부과가 다른 국가들의 수출에 어떠한 영향을 미쳤는지를 관세 탄력성과 재화의 특성을 바탕으로 분석하였다. 먼저 미국과 중국의 관세로 인하여 주변 국가에서 미국이자 중국이 과세하는 제품에 대한 수출이 증가하였음을 주장하였다. 대규모의 관세는 미국과 중국이 서로 수출하던 제품의 가격을 상승시키게 되고, 이것이 다른 국가에서 관세가 부과되는 제품에 대한 수출을 증가시키는 것으로 이해할 수 있다. 또한 특정 투입산출 구조

하에서 공급망의 재분배로 이해할 수 있다. Flaaen et al.(2020)은 미국이 세탁기에 대한 관세를 부과하자, 한국 기업들이 공급망을 재편하여 수출하였음을 보였는데, 미·중 무역전쟁은 이러한 공급망을 전 세계적으로 재편하였다고 평가해 볼 수 있다. 평균적으로 수출이 증가하였으나, 과세 대상 제품에 대한 수출의 성장은 국가 간 이질성이 나타나며, 이러한 이질성을 설명하는 데 재화의 특성이나 국가의 대응이 주요 역할을 하는 것으로 보인다. 미국과 중국이 교역하는 제품의 보완재를 수출하는 국가들(예, 우크라이나, 콜롬비아 등)은 관세로 인해 미국과 중국에 대한 수출이 감소하였으나, 미국과 중국의 수출을 대체하는 제품을 수출하는 국가들(대만, 태국, 영국 등)은 미국과 중국에 수출이 증가하였으며, 이것이 다른 국가들의 수출로 이어져 전 세계적인 수출 증가로 이어졌다. 또한 일부 국가들이 미·중 무역전쟁을 기회로 파악하고 새로운 공장, 무역 인프라에 투자하여 미국 및 중국에 수출을 증가시키는 물론, 해당 제품에 대한 전 세계적 수출 확대로 이어졌음을 주장한다. [그림 5 - 1]은 Fajgelbaum et al.(2023)에서 미국과 중국의 관세에 따른 수출탄력성을 국가별로 분석한 것이다. 각 그림의 가로축은 수출의 관세 탄력성으로 미국과 중국의 관세에 따라 수출이 증가했는지 또는 감소했는지를 나타낸다. 수출의 관세 탄력성이 0보다 크면, 관세 부과로 미국에 수출이 증가한 경우이고, 중국 수출품의 대체품을 미국에 수출한다고 추론할 수 있다. 아래의 그림에서 우리나라는 미국의 중국 제품에 대한 관세 부과로 미국 수출이 증가하였고, 중국의 미국 제품에 대한 관세 부과로 중국에 대한 수출이 감소하였다. 따라서 한국은 미국에 중국의 대체재를 수출하고 있으며, 중국에 미국의 보완재를 수출하고 있음을 추론할 수 있다. 즉, 미·중 상호 간의 무역분쟁은 주변국들이 무역을 확대할 수 있는 기회가 되었으며, 우리나라의 경우 미국에 수출하는 중국 재화에 대하여 대체재의 특성을 가지며, 상대적으로 공급이 탄력적이어서 대미수출에 반사이익을 본 것으로 보인다. 반면, 미국이 중국에 수출하는 재화에 보완재의 성격을 갖는 재화를 수출하고, 공급도 상대적으로 비탄력적이기 때문에 미·중 무역분쟁으로 대중국 수출에 불리한 점이 있었던 것으로 판단된다. 전 세계에 생산 기반이 마련된 국가의 경우 오히려 공급망 재분배를 통해 무역분쟁을 기회로 삼을 수 있

다. 다만, 연구에서 알 수 있듯이, 규제 대상 품목의 특성이 우리나라의 대응에 중요하게 작용하므로, 대상 품목이 어떤 특성을 갖느냐에 따라 다른 전략을 취해야 할 것으로 판단된다.

[그림 5-1] 관세에 따른 수출탄력성



자료: Fajgelbaum et al.(2023), p.21

나. Freund et al.(2023)

Freund et al.(2023)도 Fajgelbaum et al.(2023)과 유사한 견해를 제시하였는데, 대규모의 관세로 인하여 중국이 미국의 수입에서 차지하는 비중이 2017년 22%에서 2022년 16%로 감소하였고, 미국이 수입하던 제품은 비교우위가 있는 다른 국가의 제품으로 대체되었다. 그러나 미국의 전반적인 수입 추세에 큰 변화가 없었고, 중국의 공급이 다른 국가들로 재편되었으며 그 과정에서 반사이익을 보는 국가들이 있었다. 미국의 글로벌 공급망 개편은 장기적 과정이기 때문에, 정부의 정책 또한 장기적인 관점에서 지속될 필요가 있음을 시사한다.

다. Flaaen and Pierce(2019)

Flaaen and Pierce(2019)는 2018~2019년 미국의 관세 인상으로 인한 미국 내 제조업 부문과 노동시장의 변화를 실증 분석하였다. 미국의 수입품에 대한 관세는 국내 시장을 수입품의 경쟁으로부터 보호하는 효과가 있지만, 중간재에 대한 관세는 미국 기업의 비용을 상승시켜 미국 기업의 경쟁력을 하락시킬 수 있다고 주장하였다. 아울러 미국 무역 상대국들은 미국 수출에 대해 보복관세를 부과했으며, 이는 다시 미국 기업들이 해당 시장에서 경쟁력 하락을 유발하는 요인이 되었다. 해당 연구에서는 이러한 관세의 효과를 국내 산업 보호, 무역 상대국으로부터 받는 수출품에 대한 보복관세, 투입비용 상승의 세 가지 측면으로 분석을 시도하였다. 관세 인상으로 국내 산업 보호 효과는 고용을 증가시켰으나, 투입 비용 상승효과와 보복관세로 인한 효과는 미국 국내 제조업 고용을 감소시켰는데, 이를 종합하면 오히려 고용에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 세 가지 경로 중, 국내 산업 보호 효과로 고용을 0.4% 증대시키는 효과가 있었으나, 투입 비용 증가가 고용을 -2%, 보복관세의 효과가 고용을 -1.1% 변화시켜, 관세 인상은 제조업 고용을 -2.7% 감소시키는 것으로 나타났다. 관세 부과가 산업생산에 미치는 효과는 통계적으로 유의하지 않아, 관세 부과가 국내 생산을 촉진한다는 통계적 증거를 찾을 수 없었다. 마지막으로, 관세는 국내 중간 투입물의 가격을 상승시켜, 생산 비용의 상승을 유발하는 것으로 나타났다. 결론적으로 국내 산업 보호를

위해 취한 관세 인상 조치가 오히려 국내 고용의 감소를 가져왔으며, 생산비용 상승으로 이어졌음을 시사하고 있다.

라. Cavallo et al.(2021)

Cavallo et al.(2021)도 2018년 미국의 관세가 미국의 수출업자, 수입업자와 소매업자의 가격에 미친 영향을 분석하였는데, 관세로 인해 미국의 수출업자는 수출가격을 낮추었고, 소매업자는 가격 인상을 부담하여 이익률을 낮추었다. Cavallo et al.(2021)에 따르면 미국의 관세는 대부분 수입 가격에 전가되었으나, 미국의 기업은 중국의 보복관세에 대응하여 수출 전 가격을 낮추었다. 미국이 중국으로부터 수입하는 상품은 중국 이외의 다른 국가에서 대량으로 조달하기 더 어렵고, 수입을 위해 더 복잡한 공급망이 필요한 차별화된 상품들이기 때문에 나타났으며 이러한 요인 때문에 관세 부과로 인한 비용을 결국 미국이 부담하게 되는 상황으로 이어졌다. 또한 수입 비용의 상승에도 불구하고 미국의 소매 가격은 크게 상승하지 않았는데 이는 소매점이 상품의 이익률을 낮추었기 때문임을 추론할 수 있다. 결국 관세에 대하여 중국이 대칭적으로 반응하지 않았기 때문에 관세로 인한 비용을 미국이 부담하고 있음을 시사한다.

마. Chen et al.(2023)

Chen et al.(2023)은 미국과 중국의 무역분쟁이 중국의 ICT 산업에 미친 영향을 실증 분석하였는데, 무역분쟁으로 중국 ICT 기업의 운영비용 상승, 발명특허 출원 저하 등 ICT 산업에 부정적 영향을 미친 것으로 나타났다. Chen et al.(2023)은 중국의 ICT 기업 중 대미수출이 50% 이상을 차지하는 기업이 미·중 무역분쟁 이후 특허출원에 차이가 발생하였는지 분석하여 무역분쟁으로 인한 대규모 관세가 중국 ICT 산업에 미치는 영향을 분석하였다. 실증분석에 따르면, 미·중 무역분쟁은 중국 ICT 기업의 비용 증가를 야기하고, 이것이 발명특허 출원의 감소로 이어져 기술혁신에 부정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 특히 자금 조달에 어려움을 겪는 중소기업의 기업과 비국영 기업이 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

선행연구들은 공통적으로 최근 미국이 시행한 대규모 관세정책은 고용과 산업 육성 측면에서 단기적으로 효과를 나타내었으나, 그에 따른 비용이 수반된다고 주장하고 있다. 보호하고자 하는 산업의 고용이 증가하거나, 중국의 ICT 기업의 효율성 저하 등의 효과를 얻었으나, 관세를 부과하는 과정에서 국내 생산 비용이 상승하여 물가 상승의 압력으로 작용한 것이다. 또한 관세 부과에 대한 대응으로 교역 상대국이 보복관세를 부과하는 경우, 해당 산업의 경쟁력이 하락하는 부작용이 나타나기도 하였다. 그러나 무엇보다 중요한 것은 글로벌 공급망의 변화를 가져와 관세의 대상이 아닌 국가들에서 미국으로의 수출이 증가하고, 이것으로 국내 산업의 보호 효과가 나타나지 않을 수 있음을 보였다.

제6장 텍스트마이닝을 통한 산업정책 글로벌 추이 분석

제 1 절 분석 절차 및 방법

1. 분석 개요

최근 미국과 중국을 중심으로 특히 반도체를 포함한 최첨단 산업부문에서 기술 패권을 차지하기 위한 글로벌 무역경쟁이 나날이 심화되고 있다. 특히 G10 국가를 포함한 대부분의 선진국에서 자국의 기업과 국민의 이익을 위한 산업정책을 수시로 발표하면서 타국의 무역정책에 적극적으로 대응하고 있다. 따라서 수시로 발표되는 국가별 정책에 대해 그 정책이 국가 경제 구조에 막대한 영향을 미치는 산업정책인지 아니면 자국의 의료 및 복지 차원의 정책으로서 우리나라의 산업경제에 큰 영향을 미치지 않는 비산업정책인지를 분류하는 데이터 분석 모형이 필요하다.

본 연구에서는 매일 발표되는 GTA⁶²⁾ 정책 설명문에 대한 데이터를 수집하고 대표적인 분류 머신러닝 지도학습 기법인 로지스틱 회귀분석 모형(Agresti, 2007; Goshu et al., 2023; Loh, 2023)을 이용하여 해당 정책이 (산업, 비산업) 정책인지를 자동 분류하는 알고리즘을 제안하고 평가하였다. 기존 연구(Juhász et al., 2022; UNIDO, 2023)에 의하면, 산업정책이란 발효 정책을 통해 국가 경제 발전 및 안정과 함께 자국 경제구조의 변화를 도모하기 위한 것으로 해석될 수 있는 반면, 경제구조의 변화보다는 자국의 사회복지적 차원의 증진을 도모하기 위한 정책을 비산업정책으로 분류하고 있다. 2018년 1월부터 2023년 8월까지 68개월 동안의 정책 중 2,000개의 정책 설명문을 무작위로 선택하여 전문가 5인⁶³⁾의 다수

62) GTA(Global Trade Alert), <https://www.globaltradealert.org/latest/state-acts>

63) 경제학 박사 3인, 산업공학 박사 2인 등 5인

결로 라벨링 작업(산업 및 비산업 정책 분류)을 수행하고, 이를 학습 데이터로 이용한다. 그리고 라벨링되지 않은 27,962개의 정책 설명문에 대해 학습된 알고리즘을 이용하여 분류하고 그 결과를 분석한다.

2. 데이터 수집 및 평가

데이터 분석은 데이터 수집 및 라벨링, 데이터 처리(불용어 추가, 토큰화, TF-IDF 특성 추출), 데이터 적재, 로지스틱 회귀분석 모형 구축 및 평가, 하이퍼파라미터 튜닝 및 교차검증, 라벨링되지 않은 데이터 분류 과정을 통해 이루어진다. 먼저, 데이터는 GTA 웹사이트에서 정책별로 고유한 값인 Intervention ID (개입 번호)를 기준으로 해당 정책에 대한 설명문을 수집하였다. 2018년 1월부터 2023년 8월까지의 정책 중 무작위로 2,000개를 선택하여 전문가 5인의 라벨링 작업(다수결 결정) 수행 후, 이를 학습 데이터로 이용한다. 라벨링 결과 학습 데이터 중에는 산업정책이 958개(47.9%), 비산업정책이 1,042개(52.1%)가 포함되었다. 그리고 파이썬 라이브러리에 저장된 영어 불용어를 포함하여 총 4,563개의 불용어를 지정하고 설명문별로 단어의 중요도를 평가하였다. 여기서 단어 중요도는 TF-IDF(Term Frequency-Inverse Document Frequency)로 산정(서형준, 2023; 유원준·안상준, 2023)하고, 이를 독립변수로 설정하였다. 종속변수는 IP=1이면 산업정책, IP=0이면 비산업 정책으로 지정한다.

파이썬 사이킷-런(scikit-learn)에 포함된 라이브러리를 이용하여 로지스틱 회귀분석 모형을 구축한다. 2,000개 데이터 중 70%(1,400개)를 학습용으로 이용하고 나머지 30%(600개)로 구축모형의 성능을 평가하였다. 과대표집(Oversampling) 기법을 이용하여 (산업, 비산업) 정책의 클래스 불균형 문제를 예방하고, 하이퍼파라미터 튜닝, 확률적 경사하강법, N-gram 기법 등을 이용하여 과대적합 문제의 해결 방안을 제시하였으며, 정확도를 포함한 정밀도, 민감도, F1-score, ROC(Receiver Operating Characteristic Curve), AUC(Area Under the ROC Curve) 등의 다양한 성능지표(Juhász et al., 2022; 이기은·최영준, 2023;

정혜정·장희선, 2023; 장희선, 2022)를 평가하였다.

3. 텍스트 마이닝

가. 개요

텍스트 마이닝(Text Mining)은 대량의 텍스트 데이터에서 의미 있는 정보를 추출하고 분석하는 자연어 처리(Natural Language Processing, NLP)와 데이터 마이닝(Data Mining)이 결합된 분야이다(서형준, 2023; 유원준·안상준, 2023; Gurcan and Cagiltay, 2020). 텍스트 마이닝을 통해 텍스트 데이터로부터 유용한 통찰과 지식을 얻을 수 있어, 최근 다양한 분야에서 많이 이용되고 있다. 주요 구성요소 및 기술은 <표 6-1>과 같으며, 수집된 텍스트 데이터로부터 정보 추출, 주제 모델링, 감성 분석, 문서 분류, 군집화, 예측 모델 구축 등을 통하여 소셜 미디어 분석, 고객 의견 분석, 법률 문서 검색, 의료정보 추출 등에 주로 이용된다.

<표 6-1> 텍스트 마이닝 요소 기술

구분	주요 내용
텍스트 수집 (Text Collection)	<ul style="list-style-type: none"> • 대량의 텍스트 데이터 수집 • 웹사이트, 문서, 소셜 미디어, 이메일, 로그 파일 등에서 수집
토큰화 (Tokenization)	<ul style="list-style-type: none"> • 수집된 데이터를 문장, 단어 또는 구문으로 분할 • 처리 가능한 단위로 나눔
불용어 처리 (Stopword Removal)	<ul style="list-style-type: none"> • 자주 등장하지만 분석에 유용하지 않은 단어 • 예를 들어 'a', 'an', 'the', 'is'와 같은 단어로 분석 시 제외함
어근 추출 (Stemming or Lemmatization)	<ul style="list-style-type: none"> • 단어를 기본형태로 변환하여 어근 추출 • 단어 변형이나 다른 형태의 동사, 명사, 형용사 통합하여 분석
품사 태깅 (Part-of-Speech Tagging)	<ul style="list-style-type: none"> • 형태소(가장 작은 말의 단위, 최소 의미를 가짐)에 대해 품사 부착(tagging) • 각 단어(형태소)에 대해 문법적 역할을 태깅하여 문장의 의미 분석
주제 모델링 (Topic Modeling)	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 주제 식별 및 추출 • LDA(Latent Dirichlet Allocation, 통계적 토픽 모델) 알고리즘 사용

구분	주요 내용
감성 분석 (Sentiment Analysis)	<ul style="list-style-type: none"> • (긍정, 부정) 또는 중립적 감정 탐지 및 분석 • 제품 리뷰, 소셜 미디어 게시물 분석 등
문서 분류 (Document Classification)	<ul style="list-style-type: none"> • 사전에 정의된 범주로 분류 • 스팸 필터, 뉴스 카테고리 분류 등
연관 규칙 분석 (Association Rule Mining)	<ul style="list-style-type: none"> • 특정 단어, 구문 또는 주제간의 관련성 분석
시각화 (Visualization)	<ul style="list-style-type: none"> • 텍스트 데이터의 패턴, 관계, 주제 등을 시각적으로 표현

자료: 서형준(2023), 이기은·최형준(2023), 정혜정·장희선(2023), 장희선(2023), Gurcan and Cagiltay(2020) 참조하여 저자 작성

나. 문서 내 단어 중요도

정보검색 분야에서는 문서 내에서 단어의 중요성을 평가하고 문서들 사이 비교 시 TF(Term Frequency)와 IDF(Inverse Document Frequency)를 이용한다. 여기서 TF는 단어 빈도수, IDF는 역 문서 빈도수이다. TF는 각 문서 내, 특정 단어의 출현 빈도를 나타내는 값으로 해당 단어가 문서 내에서 얼마나 자주 출현하는지를 다음과 같이 계산한다.

$$TF(t)=(\text{특정 단어 } t \text{의 등장 횟수}) / (\text{해당 문서 내의 전체 단어 수}) \quad (1)$$

예를 들어, 'industry'라는 단어가 문서 내에서 다섯 번 등장하고, 문서 내 전체 단어 수가 100개면, $TF(\text{industry})=5/100=0.05$ 이다.

IDF는 특정 단어가 전체 문서 집합에서 얼마나 중요한지를 나타내는 값으로 특정 단어가 다른 문서에 얼마나 공통적으로 나타나는지를 반영하는 지표이다.

$$IDF(t)=\log(\text{분석대상의 총 문서 수}/(\text{특정 단어 } t \text{를 포함하는 문서의 수}+1)) \quad (2)$$

IDF를 계산할 때 (자연)로그함수 입력 시 '분모=0'을 방지하기 위해 (분모+1)로 1을 더한다. 예를 들어 'industry'라는 단어가 총 10개의 문서 중 5개의 문서에 출현하였다면 $industry$ 의 $IDF(\text{industry})=\log(10/6)=0.511$ 이다. TF-IDF 가중값

은 단어의 중요성을 평가하기 위해 (TF, IDF)를 동시에 고려하며, TF와 IDF를 곱하여 구한다.

$$\text{TF-IDF}(t)=\text{TF}(t)\times\text{IDF}(t) \quad (3)$$

위 예제에서 해당 문서의 ‘industry’의 가중값(중요도)은 $\text{TF-IDF}(\text{apple})=0.05 \times 0.511=0.026$ 이다. $\text{TF-IDF}(t)$ 값은 해당 단어에 대한 분석 대상 문서에서 중요도를 나타내며, 이 값이 높을수록 해당 문서에서 중요한 역할을 하는 것으로 해석한다. TF를 통해 일부 문서에서 많이 등장하는 단어를 중요하다고 판단하며, IDF를 통해 관사 등 일반적으로 모든 문서에 많이 등장하는 단어보다 특정 문서에만 등장하는 단어를 더 중요하다고 판단하게 된다. 즉, 특정 문서에서 자주 등장하지만 다른 문서에서는 드물게 등장하는 단어는 높은 TF-IDF 값을 가지게 된다. TF-IDF는 정보검색, 문서분류, 문서 군집화, 검색 엔진, 텍스트 요약 등 다양한 텍스트 마이닝 응용 분야에서 이용된다.

4. 로지스틱 회귀분석 모형

가. 개요

로지스틱 회귀분석(Logistic Regression) 모형(모델)은 통계학과 머신러닝 분야에서 사용되는 중요한 통계 모델 중 하나이다(Agresti, 2012; Gosho et al., 2023; Loh, 2023). 이 모형의 개발은 다양한 연구자와 통계학자에 의해 수행되었으며, 19세기와 20세기에 통계학 및 확률 이론의 발전과 함께 널리 사용되고 있다. 로지스틱 모형은 다중분류(Multi-class Classification, 여러 클래스 또는 범주 중에서 하나의 클래스를 예측) 문제에도 적용할 수 있으나 주로 이진분류(Binary Classification) 문제를 해결하는 데 이용된다. 즉, 어떤 사건이 발생할 확률을 예측하는 데 사용되며, 주로 ‘양성’ 또는 ‘음성’, ‘성공’ 또는 ‘실패’, ‘남성’ 또는 ‘여성’과 같이 두 가지 범주 중 하나에 속하는 결과를 예측하는 데 유용한 모형이다.

로지스틱 회귀분석 모형의 주요 특징을 요약하면 다음과 같다(Agresti, 2012; Loh, 2023).

- 확률 예측: 로지스틱 회귀는 0과 1 사이의 확률값을 예측하며, 이 확률은 주어진 입력 변수와 그에 해당하는 결과가 발생할 확률이다.
- 시그모이드 함수: 로지스틱 회귀에서는 활성화 함수(Activation Function)로 시그모이드(Sigmoid) 또는 로지스틱 함수를 주로 이용한다. 시그모이드 함수는 S자 형태의 곡선을 가지며, 입력값이 크거나 작을 때 확률을 1 또는 0에 가깝게 만든다. 로지스틱 회귀는 이 활성화 함수를 이용하여 입력 변수와 가중치의 조합(계수)을 확률로 변환하고, 이 확률을 기반으로 이진분류를 수행한다.
- 독립변수와 계수: 독립변수(특성)와 각 독립변수에 해당하는 계수(Coefficients)를 사용하여 예측하며, 이 계수는 모델이 각 특성의 중요도를 학습하는 데 사용된다.
- 손실 함수: 모델 학습 과정에서 로지스틱 손실 함수(Loss Function)를 최소화하기 위한 방향으로 회귀계수를 조정하여 모델을 학습하며, 손실 함수는 예측 확률과 실제 결과 사이의 차이를 측정하는 데 이용된다.

나. 로지스틱 회귀 함수

로지스틱 회귀분석에서는 다음과 같이 독립변수(x)에 대하여 양성(또는 성공)일 확률, $P(Y=1) = \pi(x)$ 를 계수(α , β)를 이용하여 다음과 같이 예측한다.

$$P(Y=1) = \pi(x) = \alpha + \beta x \quad (4)$$

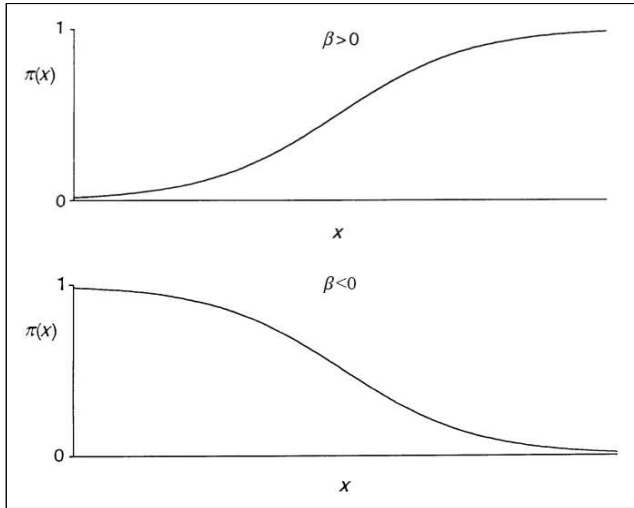
따라서, 음성(또는 실패)일 확률, $P(Y=0)$ 은 다음과 같다.

$$P(Y=0) = 1 - \pi(x) = 1 - \alpha - \beta x \quad (5)$$

예를 들어, P연구원을 다니는 K씨의 연봉이 x인 경우, 신차를 구매할 확률($\pi(x)$)은 0 또는 1인 상황을 가정해 보자. 일반적으로 x=5만 달러일 때 보다 x=100만 달러인 경우, 내년 연봉이 동일하게 1만 달러 증가 시 각각에 대해 신차 구매 확률의 상승효과가 달라진다고 본다. 즉, x=100만 달러인 사람이 $\pi(x)=1$ 에

가까운 값을 가질 것이다. 따라서 [그림 6-1]에서와 같이 $\pi(x)$ 은 x 가 증가함에 따라 연속적으로 증가하거나 감소하는 S자 모양의 곡선을 가진다.

[그림 6-1] 로지스틱 회귀함수



자료: Agresti(2012), p.71

이러한 S자 모형의 곡선을 표현하기 위해 다음과 같이 지수함수를 이용한다.

$$\pi(x) = \frac{\exp(\alpha + \beta x)}{1 + \exp(\alpha + \beta x)} = \frac{e^{\alpha + \beta x}}{1 + e^{\alpha + \beta x}} = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta x)}} \quad (6)$$

위의 식(6)을 로지스틱 회귀함수(Logistic Regression Function, 또는 시그모이드(Sigmoid) 함수)라고 하며, 오즈비(Odds Ratio)의 구성요소인 어떤 사건의 (발생확률/미발생확률)을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\pi(x)}{1 - \pi(x)} = \frac{\frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta x)}}}{\frac{e^{-(\alpha + \beta x)}}{1 + e^{-(\alpha + \beta x)}}} = e^{\alpha + \beta x} \quad (7)$$

그리고 밑이 e인 자연로그를 이용하여 로지스틱 분석모형식을 나타내면 다음과 같다.

$$\ln\left(\frac{\pi(x)}{1-\pi(x)}\right) = \alpha + \beta x \quad (8)$$

따라서 분류모델을 위한 로지스틱 회귀분석 모형에서는 독립변수(X_1, X_2, \dots, X_n), 계수($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$), 편향(α 또는 β_0)을 이용하여 다음과 같은 방법으로 주어진 데이터를 학습하고 최종적인 분류값(이진분류)을 예측한다. 식(8)을 이용하여 선형회귀와 동일하게 선형 방정식을 학습하고, 계수($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$)와 편향값(β_0)을 구한다. 최적의 계수와 편향값을 구하기 위해 주로 최대우도추정법(Maximum Likelihood Estimation, MLE)을 이용(Hogg et al., 2017)한다.

$$z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (9)$$

로지스틱 회귀함수(식(6))를 이용하여 확률($\pi(z)$)을 구한다.

$$\pi(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (10)$$

이진분류의 경우 로지스틱 함수의 출력값($\pi(z)$)이 0.5 이상이면 양성(또는 성공) 클래스, 0.5보다 작으면 음성(또는 실패) 클래스로 판단한다.

다. 과대적합 방지

회귀모형의 과적합(Overfitting, 과대적합)을 줄이기 위해 Ridge(릿지)와 Lasso(라쏘) 규제를 이용한다. 이는 통계적 기법으로서 회귀모형의 가중치(계수 및 편향)를 조절하여 더 일반화되고 성능이 높은 분류모형을 제시한다.

1) Ridge Regulation

Ridge 회귀식은 실제값(y)과 예측값(\hat{y})의 잔차제곱합(Residual of Squares, RSS)과 패널티 항(계수의 제곱)의 합을 최소화하는 계수를 추정한다(Sherzodjon, 2023).

$$L_{ridge} = \arg \min_{\hat{\beta}} \left(\sum (Y - \hat{\beta}\hat{X})^2 + \alpha \sum \hat{\beta}^2 \right) \quad (11)$$

L_{ridge} 는 미분이 가능하다. 따라서 Gradient Descent 방법으로 최적화가 가능하며, 계수(Parameters) 값의 크기가 큰 것을 더 빠른 속도(작은 것보다)로 줄이게 된다. 즉, α 가 크면 클수록 Ridge 회귀계수의 추정치는 0에 가까워지고, $\alpha=0$ 인 경우 패널티 항은 효과가 없어, MLE 계수값을 얻는다. 결국, Ridge 회귀는 패널티를 얼마나 부과(규제의 강도)하는가를 조절하는 값(규제값)을 이용하여 학습 데이터에 과대적합하는 것을 방지하게 된다. 주요 특징은 다음과 같다.

- 비용함수 = 원래 비용(RSS) + $\alpha \times \sum$ 가중치²
- Ridge 규제는 L2 규제(L2 norm)라고도 한다.
- 비용함수에 가중치의 제곱값을 추가하며, 추가 항은 모형의 가중치가 커지지 않도록 제한하고, 가중치의 크기를 줄인다.
- α 는 릿지 규제의 강도를 조절하는 하이퍼 파라미터이며, α 가 0에 가까울수록 릿지 규제의 효과가 약화되고, α 가 커질수록 릿지 규제가 더 강해진다.
- 모든 특성을 고려한 가중치를 감소시키는 경향이 있으며, 이로 인해 모델이 안정적으로 되고, 다중공선성(Multicollinearity, 독립변수들 사이 강한 상관관계가 있음) 문제를 해결하는 데 도움이 된다.

2) Lasso Regulation

Lasso 회귀식은 다음과 같이 패널티 항에 계수(가중치)들의 절대값의 합으로 표현된다. 제약조건이 절대값이라 Closed form의 해를 구할 수 없어(L_{lasso} 미분 불가능), 최적값을 찾기 위해 Numerical optimization 방법을 이용한다.

$$L_{lasso} = \arg \min_{\hat{\beta}} \left(\sum (Y - \hat{\beta}\hat{X})^2 + \alpha \sum |\hat{\beta}| \right) \quad (12)$$

Lasso 회귀는 제약조건이 절대값이라 일부 유의미하지 않은 특성들에 대한 파라미터(계수)를 0에 가깝게 추정함으로써 유의한 변수를 선택하는 데 유리하다. 그리고 파라미터의 크기와 무관하게 같은 수준의 규제를 적용할 수 있어 그 값이

작은 계수(파라미터)를 0으로 만들어 특정 변수를 분석모형에서 삭제함으로써 모델을 단순하게 만들고 해석이 용이하다. 라쏘 회귀의 주요 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 비용함수=원래 비용(RSS)+ $\alpha \times \sum |$ 가중치
- Lasso 규제는 L1 규제(L1 norm)라고도 한다.
- 비용함수에 가중치의 절댓값을 추가하고, 추가 항은 가중치의 일부를 0으로 만들어 특성 선택(Feature Selection)의 효과를 얻는다.
- α 는 Lasso 규제의 강도를 조절하는 하이퍼 파라미터이며, α 가 0에 가까울수록 Lasso 규제의 효과가 약화되고, α 가 커질수록 Lasso 규제가 더 강해진다.
- 가중치가 0이 되는 특성을 가지므로 특성 선택을 수행하는 효과가 있어, 분석 모형의 해석이 쉽다.

릿지와 라쏘 규제는 로지스틱 회귀모형의 가중치를 조절하여 과대적합을 방지하고 모형의 일반적 성능을 개선하는 데 도움을 준다. 두 규제 방법 모두 적절한 규제값(α)을 선택하는 것이 중요하며, 이를 튜닝(Tuning)하기 위해 교차검증(Cross Validation, CV) 방법을 사용한다.

3) N-gram 언어 모델(N-gram Language Model)

N-gram 언어 모델은 통계적 언어모델(SLM, Statistical Language Model)로 단어 빈도수에 기반한 통계적 접근 방법이다(유원준·안상준, 2023; Juhász et al., 2022). 출현한 모든 단어를 고려하는 것이 아니라 일부 단어만 고려하는 접근 방법을 사용하며, 이 경우 일부 단어를 몇 개(N) 보느냐를 결정하여 분석한다. N-gram이란 연속적인 N개 단어의 나열을 뜻하며, 문장에서 단어의 최소 문치 단위(N개)로 끊고, 이 문치를 하나의 토큰으로 평가한다. N-gram을 사용하는 경우 N=1일 때 Unigram(1-gram), N=2일 때 Bigram(2-gram), N=3일 때 Trigram(3-gram)이라 하고 $N \geq 4$ 이상일 때 gram 앞에 숫자를 붙여 명명한다.

N-gram을 이용한 언어 분석 모델에서는 다음에 나올 단어의 예측은 N-1개의

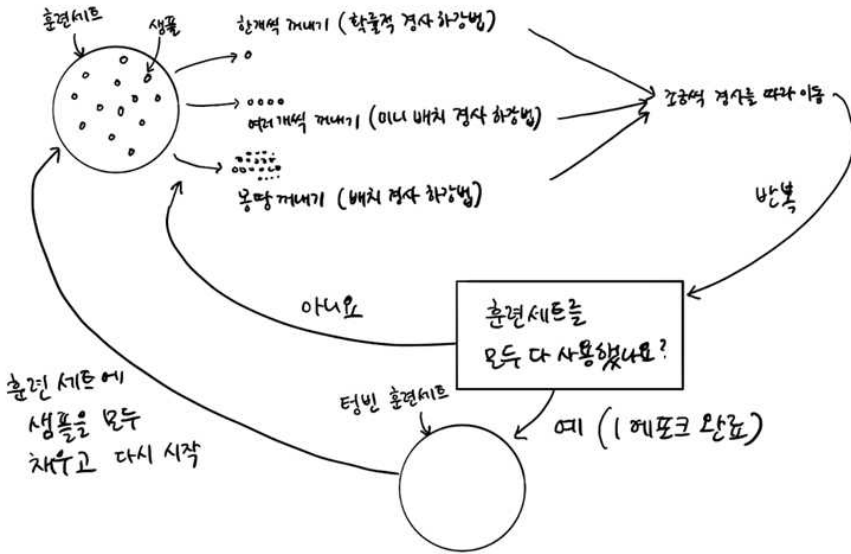
단어에만 의존한다. N-gram 분석에서 N의 값은 분석모형의 성능에 영향을 미친다. 보통 N=1보다는 N=2로 선택하는 것이 거의 대부분의 경우에서 모형의 성능을 높인다(유원준·안상준, 2023). 그러나 N을 크게 선택하면 실제 훈련 데이터에서 해당 N-gram을 분석하여 그 확률값을 계산하는 경우 희소 문제가 점점 더 심각해지며, N이 커질수록 분석 대상 모형의 사이즈가 커져 분석시간이 오래 소요(모든 문서에서 N-gram에 대한 개수 산정)된다는 문제점이 있다. 그리고 N이 작은 경우 훈련 데이터에 대한 출현 단어의 개수를 잘 평가하지만, 분류의 정확도는 현실적인 확률분포와 멀어지게 된다. 따라서 이러한 trade-off 관계를 면밀히 분석하여 적절한 N을 선택하는 것이 중요하다. 일반적으로 N은 5를 넘어서는 안 된다고 권장(N의 최대값=5)하고 있어 N=1, 2, 3의 세 가지 경우를 평가하여 최적의 모형을 구축하는 것이 바람직하다.

4) 확률적 경사하강법(Stochastic Gradient Descent)

매일 각국의 정부 산업정책이 수시로 발표되는 것처럼 학습 데이터가 한 번에 준비되는 것이 아니라 매일 매일 수집되는 상황의 경우 기존 학습 데이터에 새로운 데이터를 추가하여 모형을 다시 훈련시키는 것이 바람직하다. 이러한 훈련 방법을 점진적 학습 또는 온라인 학습법이라 하며, 대표적인 점진적 학습 알고리즘으로 확률적 경사하강법(Stochastic Gradient Descent, SGD)을 이용한다(김대수·김경동, 2023; 박해선, 2020). 확률적 경사하강법에서 확률적이란, ‘무작위하게’ 혹은 ‘랜덤하게’의 뜻이며, 경사란 ‘기울기’, 하강법은 ‘내려가는 방법’을 의미한다. 확률적 경사하강법은 [그림 6-2]와 같이 훈련 데이터에서 랜덤하게 하나의 샘플을 선택하여 가파른 경사를 조금 내려간다(손실함수(실제값과 예측값 사이의 차이를 측정하는 함수)의 값이 작아지도록 함). 그리고 훈련 데이터에서 다른 샘플을 한 번 더 선택하여 확률적으로 경사를 조금 내려가 본다. 이 과정은 전체 샘플을 모두 사용할 때까지 반복된다. 만약, 모든 샘플을 다 사용하고도 가장 낮은 지점을 찾지 못하였다면, 처음부터 동일한 과정을 반복한다. 훈련 데이터를 한 번 모두 사용하는 과정을 Epoch(에포크)라 하고, 일반적으로 수십, 수백 번 이상의

Epoch를 수행하여 최적의 모형을 구축한다. 여러 개의 샘플을 사용하는 경우 미니배치(Mini-batch), 한 번에 전체 샘플을 사용하는 경우 Batch Gradient Descent(배치경사하강법)이라고 한다.

[그림 6-2] 확률적 경사하강법



자료: 박해선(2020), p.202

경사를 따라 내려가는 기준은 손실함수(Loss Function 또는 비용함수)를 이용한다. 손실함수는 샘플 하나에 대한 손실(실제값과 예측값의 차이)이고 비용함수는 훈련 데이터에 포함된 모든 샘플 데이터에 대한 손실함수의 값으로 구분하기도 한다. 확률적 경사하강법의 경우 다양한 손실함수를 이용하며, 이진분류를 위한 로지스틱 회귀분석 모형의 경우 다음과 같은 로지스틱 손실함수를 이용한다.

$$L(y, \hat{y}) = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)] \quad (13)$$

여기서 N은 데이터의 개수, y_i 는 실제값, \hat{y}_i 는 예측값이다. 로지스틱 손실함수는

각각의 데이터에 실제값이 1일 때 $\log(\hat{y}_i)$ 를, 실제값이 0일 때 $\log(1-\hat{y}_i)$ 를 계산하고 이를 더한 후 모든 데이터에 대한 평균을 구한다. 최적의 모형을 찾기 위해 이 손실을 최소화하는 방향으로 모형을 학습시키게 된다.

5. 분류분석 모형의 성능평가

이진분류(산업정책 또는 비산업정책)를 위한 데이터 분석모형의 성능을 평가하기 위해 정확도(Accuracy) 외에 혼동행렬(Confusion Matrix), ROC(수신자조작 특성곡선, Receiver Operating Characteristic), AUC(ROC 곡선 아래 면적, Area Under the ROC Curve) 등이 이용된다. 혼동행렬은 혼돈행렬, 정오행렬, 오분류표 등으로도 불리며, [그림 6-3]과 같이 지도학습에서 ‘분류 모형이 예측한 값(Predicted Class)’과 라벨링되어 있는 ‘원래의 값(Actual Class, 참값)’ 사이의 관계를 나타낸다. 이를 이용하여 데이터 분석모형의 정확도(Accuracy), 정밀도(Precision), 민감도(Precision), F1-Score(F-Measure) 등을 평가한다.

[그림 6-3] 혼동행렬(Confusion Matrix)

		Predicted Class		
		Positive	Negative	
Actual Class	Positive	True Positive (TP)	False Negative (FN) Type II Error	Sensitivity $\frac{TP}{(TP + FN)}$
	Negative	False Positive (FP) Type I Error	True Negative (TN)	Specificity $\frac{TN}{(TN + FP)}$
		Precision $\frac{TP}{(TP + FP)}$	Negative Predictive Value $\frac{TN}{(TN + FN)}$	Accuracy $\frac{TP + TN}{(TP + TN + FP + FN)}$

자료: 장희선(2022), 정혜정·장희선(2023)

혼동행렬에서 대각선에 있는 값(True Positive, True Negative)의 경우, 예측과 실제 범주값이 일치하여 올바르게 예측한 경우이다. 반면, 대각선 외의 칸의 값은 그 결과가 일치하지 않은 경우로 모형이 부정확하게 예측한 사례이다. 혼동행렬을 이용하여 각각의 경우에 대한 비율을 평가함으로써 데이터 분석 모형의 성능을 평가하게 된다. 분류 문제에 대한 머신러닝 기반의 데이터 분석의 경우, 혼동행렬을 이용한 주요 성능평가 지표를 요약하면 <표 6-2>와 같다.

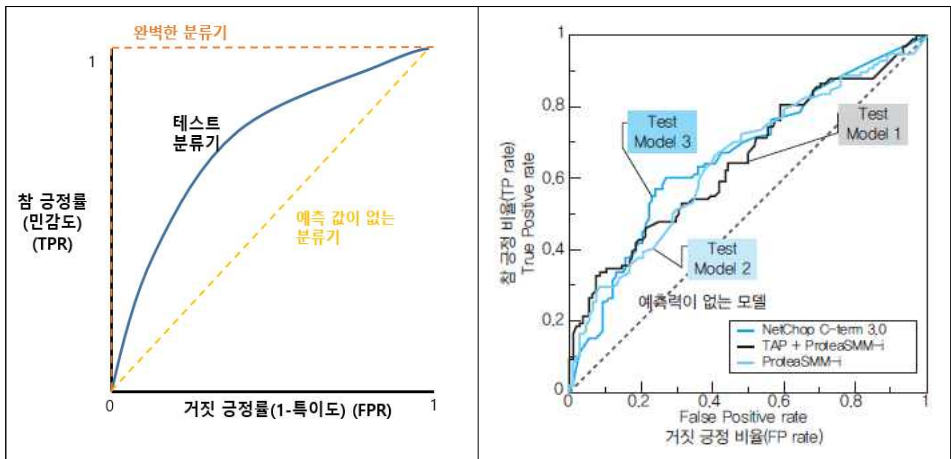
<표 6-2> 분류 데이터 분석모형의 성능평가 지표

지표	계산식	의미
오차비율 (Error Rate)	$\frac{(FP+FN)}{(TP+FP+FN+TN)}$	<ul style="list-style-type: none"> 오류율 분류 범주를 잘못 분류한 비율 = 1-정확도 전체 데이터 수에서 잘못 분류한 데이터 수의 비율
정확도 (Accuracy)	$\frac{(TP+TN)}{(TP+FP+FN+TN)}$	<ul style="list-style-type: none"> 분류 범주를 정확하게 예측한 비율 [전체 중 참긍정(TP) 참부정(TN) 비율] 1-오류율(오차비율, Error Rate) 전체 중에서 올바르게 실제 범주를 추정한 전체 비율 오류율과는 상반된 개념
민감도 (Sensitivity)	$\frac{TP}{(TP+FN)}$	<ul style="list-style-type: none"> 긍정(Positive)인 범주 중 긍정으로 올바르게 예측(True Positive)한 비율 참 긍정률(TP rate) Recall(재현율), Hit Ration라고도 부름 실제 참인 경우를 참으로 분류하여 판정하는 비율 (예) 특정 질병에 대해 실제 질병이 있는 경우를 양성으로 판정하는 비율
특이도 (Specificity)	$\frac{TN}{(TN+FP)}$	<ul style="list-style-type: none"> 부정(Negative)인 범주 중 부정으로 올바르게 예측(True Negative)한 비율=1-거짓긍정률(FP rate) 실제 거짓인 경우를 거짓으로 분류하여 판정하는 비율
정밀도 (Precision)	$\frac{TP}{(TP+FP)}$	<ul style="list-style-type: none"> 긍정(Positive)으로 예측한 비율 중에서 실제 긍정(True Positive)의 비율
거짓 긍정률 (FP rate)	$\frac{FP}{(TN+FP)}$	<ul style="list-style-type: none"> 부정(Negative)인 범주 중 긍정으로 잘못 예측(False Positive)한 비율 =1-특이도

지표	계산식	의미
카파 값 (Kappa Value 또는 Kappa Statistics)	$\frac{Pr(a) - Pr(e)}{1 - Pr(e)}$	<ul style="list-style-type: none"> • Pr(a): 정확확률(Accuracy), 정확도 • Pr(e): 오차확률(Error Rate), 오차비율 • 모델의 예측값과 실젯값이 우연히 일치할 확률을 제외한 뒤의 값 • 0~1의 값을 가짐 • 1에 가까울수록 모델의 예측값과 실젯값이 정확히 일치 • 0에 가까울수록 모델의 예측값과 실젯값이 불일치
F-Measure	$2TP/(2TP + FN + FP)$	<ul style="list-style-type: none"> • 정밀도와 민감도(재현율)를 하나로 합한 성능 평가지표 • 정밀도와 민감도의 조화 평균 • 0~1 사이의 범위를 가짐 • 정밀도와 민감도 양쪽 다 클 때 F-Measure도 큰 값을 보임

자료: 장희선(2022)

[그림 6-4] Receiver Operating Characteristic(ROC) 곡선



자료: 장희선(2022)

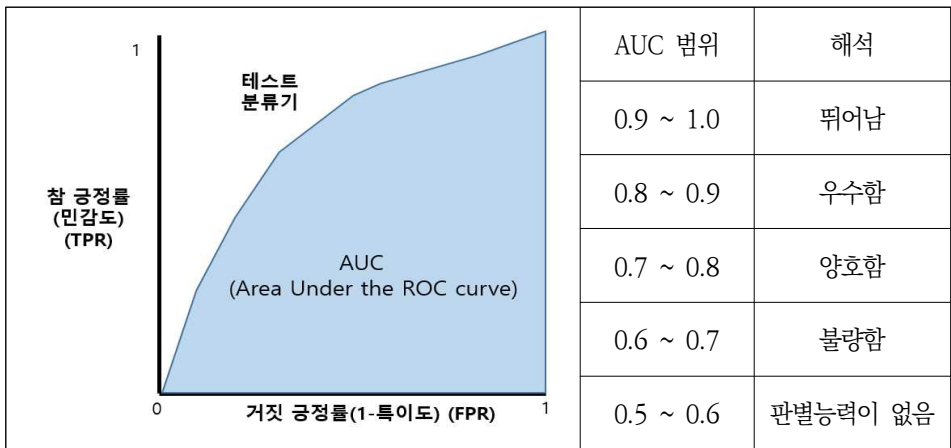
ROC 곡선(수신자 조작 특성, 반응자 작용 특성, 수용자 반응 특성)은 혼동행렬을 이용한 성능평가 지표 중 거짓긍정률(FP rate, 1-Specificity)과 참긍정률(TP rate)을 이용하여 작성한 그래프이다. [그림 6-4]처럼 FP rate(FPR)과 TP rate

(TPR) 사이의 관계를 그래프로 표현함으로써 목표변수(종속변수) 값 분류 시 긍정 범주(Positive)와 부정 범주(Negative)를 판단하는 기준치 변화에 따른 참긍정과 거짓 긍정의 비율 변화를 한눈에 확인할 수 있고, 모형들 사이의 성능을 서로 비교·평가하는 데 유용하다.

데이터 분석모형 평가결과, TP rate 값이 클수록 그리고 FP rate 값이 작을수록 분류 성능이 우수한 모형이며, 따라서 [그림 6-4]에서 Test Model 3이 Model 1 혹은 2보다 성능이 우수한 모형으로 평가된다. 반면, 그래프에서 대각선의 성능을 보이는 모형은 예측력이 없는 모형이다.

AUC는 ROC 곡선 아래 부분의 면적으로, [그림 6-5]에서 ROC 곡선의 (0, 0)에서 (1, 1)까지 곡선 아래 부분의 면적이다. AUC의 범위는 0~1이며, 값이 클수록 성능이 우수하고, AUC가 0.8 이상인 경우 우수한 모형으로 평가한다.

[그림 6-5] AUC 범위에 따른 성능평가



자료: 장희선(2022)

제 2 절 산업정책 분류 분석 결과

1. 학습 데이터 분석

가. 데이터 수집

GTA(Global Trade Alert) 웹사이트⁶⁴)에서 국가별로 발표되는 정책 설명문을 포함하여 <표 6-3>과 같은 속성(컬럼, 특성) 데이터를 수집(단, Description(정책 설명문)은 별도 수집, IP(1 또는 0)는 종속변수)할 수 있다.

<표 6-3> 학습 데이터 구성 요소(컬럼명)

Column 이름	비 고	Column 이름	비 고
State Act ID	정책 번호	Implementing Level	적용 수준
Intervention ID	개입 번호	Eligible Firms	적용 업체 구분
State Act Title	정책 제목	Intervention Type	개입 유형
Announcement Date	정책 발표 일자	MAST chapter	MAST 분류 기준 (개입 유형)
GTA Evaluation	GTA 평가	Affected Sectors	영향을 받는 섹터(부문)
Currently in force	현재 발효 여부	Affected Products	영향을 받는 제품
Inception Date	효력 개시 일자	Affected Jurisdiction	영향 관할권
Removal Date	효력 정지 일자	Description	정책 설명문
Implementing Jurisdiction	시행 관할국	IP	산업(1), 비산업(0) 구분

주: Affected Jurisdiction은 GTA 데이터가 동일 Intervention ID에 국가별로 별도의 행으로 구분하여 제공되어 수집 만개 이상의 과도한 데이터 입력이 필요하여 본 보고서에서는 분석에서 제외함

먼저, GTA 웹사이트의 [DATA & METHODS] 메뉴에서 가장 최근의 정책 데이터를 수집하고 해당 정책 데이터에 대한 설명문(Description)은 [LATEST STATE ACTS] 메뉴를 이용하여 데이터를 추가한다. 2018년 1월 1일부터 2023

64) https://www.globaltradealert.org/data_extraction

년 8월 25일까지의 정책 중 2,000건을 랜덤하게 수집하였으며, 수집된 정책 설명문을 통하여 해당 정책이 산업정책인지(IP=1), 아닌지(IP=0)를 구분(라벨링)하였다. 라벨링 작업(IP 컬럼)은 전문가 5인의 다수결 의견을 토대로 수행되었다. 총 2,000개의 학습 데이터(산업정책 958개, 비산업정책 1,042개)에 대한 기술통계량을 요약하면 [그림 6-6]과 같고, 각 컬럼에 대한 최소, 최대, 평균, 중앙값, 왜

[그림 6-6] 학습 데이터의 기술통계량

```

> nrow(data)
[1] 2000
> ncol(data)
[1] 19
> summary(data)
  State Act ID      Intervention ID      State Act Title      Announcement Date
Min.   :29647      Min.   : 60158      Length:2000          Min.   :2018-01-01 00:00:00.0
1st Qu.:45343      1st Qu.: 81471      Class :character     1st Qu.:2019-11-07 00:00:00.0
Median :59203      Median : 96567      Mode  :character     Median :2020-12-17 00:00:00.0
Mean   :55609      Mean   : 94482                      Mean   :2020-10-16 14:13:55.2
3rd Qu.:66386      3rd Qu.:107421                     3rd Qu.:2021-12-23 06:00:00.0
Max.   :77426      Max.   :122351                     Max.   :2023-08-25 00:00:00.0
Implementing Jurisdiction Implementation Level Eligible Firms      Intervention Type
Length:2000          Length:2000          Length:2000          Length:2000
Class :character     Class :character     Class :character     Class :character
Mode  :character     Mode  :character     Mode  :character     Mode  :character

Affected Jurisdiction      IP      Description
Length:2000              Min.   :0.000      Length:2000
Class :character         1st Qu.:0.000      Class :character
Mode  :character         Median :0.000      Mode  :character
                          Mean   :0.479
                          3rd Qu.:1.000
                          Max.   :1.000

GTA Evaluation      Currently in force      Inception Date      Removal Date
Length:2000          Length:2000            Length:2000          Length:2000
Class :character     Class :character       Class :character     Class :character
Mode  :character     Mode  :character       Mode  :character     Mode  :character

MAST chapter      Affected Sectors      Affected Products      Affected Products continued
Length:2000        Length:2000            Length:2000            Mode:logical
Class :character   Class :character       Class :character       NA's:2000
Mode  :character   Mode  :character       Mode  :character

> describe(data)
vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
State Act ID 1 2000 55608.94 12782.60 58203.0 55885.19 15932.02 29647 77426 47779 -0.16 -1.11 285.83
Intervention ID 2 2000 94482.06 16166.57 96567.0 94800.87 19334.59 60158 122351 62193 -0.14 -1.00 361.50
State Act Title* 3 2000 948.20 544.22 953.5 950.90 701.27 1 1872 1871 -0.03 -1.22 12.17
Announcement Date 4 2000 NaN NA NA NaN NA Inf -Inf -Inf NA NA NA
GTA Evaluation* 5 2000 2.74 0.55 3.0 2.87 0.00 1 3 2 -2.05 3.15 0.01
Currently in force* 6 2000 1.74 0.44 2.0 1.80 0.00 1 2 1 -1.10 -0.79 0.01
Inception Date* 7 1961 446.44 254.79 469.0 449.23 306.90 1 907 906 -0.07 -1.11 5.75
Removal Date* 8 1133 72.98 86.51 15.0 61.53 20.76 1 246 245 0.76 -0.97 2.57
Implementing Jurisdiction* 9 2000 55.12 35.67 45.0 55.20 47.44 1 107 106 0.12 -1.53 0.90
Implementation Level* 10 2000 2.29 0.75 2.0 2.18 0.00 1 5 4 1.70 3.81 0.02
Eligible Firms* 11 2000 1.62 0.85 1.0 1.49 0.00 1 6 5 2.35 7.38 0.02
Intervention Type* 12 2000 30.95 16.47 24.0 31.08 14.83 1 56 55 0.18 -1.37 0.37
MAST chapter* 13 2000 15.62 5.76 14.0 15.79 0.00 1 25 24 -0.02 -0.05 0.13
Affected Sectors* 14 2000 275.77 203.96 261.0 269.25 274.28 1 641 640 0.11 -1.29 4.56
Affected Products* 15 2000 244.24 276.83 135.0 207.63 198.67 1 850 849 0.78 -0.82 6.19
Affected Products continued 16 0 NaN NA NA NaN NA Inf -Inf -Inf NA NA NA
Affected Jurisdiction* 17 2000 41.13 48.28 14.5 34.82 20.02 1 141 140 0.78 -0.95 1.08
IP 18 2000 0.48 0.50 0.0 0.47 0.00 0 1 1 0.08 -1.99 0.01
Description* 19 2000 999.36 575.69 1000.5 1000.32 741.30 1 1973 1972 -0.01 -1.21 12.87

> print(sum(data$IP == 1))
[1] 958
> print(sum(data$IP == 0))
[1] 1042
    
```

도(skew), 첨도(kurtosis) 및 널값(NA's) 등을 확인할 수 있다. 총 19개의 컬럼 중 [Affected Products continued]는 [Affected Products] 열에 대한 추가적인 값을 나타내고 있으나 학습 데이터의 경우 모두 공백의 값을 가지고 있어, 이 열은 삭제하여 저장한다.

나. 산업정책의 정의

산업정책(Industrial Policy)이란, 각 나라의 정부가 국가 경제의 발전과 안정을 위해 다양한 산업 부문에 대한 방향과 지침을 제시하고 조정하는 정책을 의미하며, 일반적으로 국가의 경제 목표를 달성하고 해당 산업의 성장과 경쟁력을 강화하기 위해 수립된다. Juhász et al.(2022)과 UNIDO(2023)에서 설명하는 산업정책의 정의는 다음과 같이 두 가지 측면이 포함된다.

<표 6-4> 산업정책의 정의

(Part A) Stated goal
Industrial policy is goal oriented state action. The purpose is to shape the composition of economic activity. Specifically: industrial policy seeks to change the relative prices across sectors or direct resources toward certain selectively targeted activities (e.g., exporting, R&D), with the purpose of shifting the long-run composition of economic activity.
(직역) 명시적 목표: 산업정책은 목표지향적인 국가의 조치이다. 그 목표는 국가 경제 활동의 구성(형성)이다. 구체적 정의: 산업 부문들 또는 자원들을 특정한 선택적인 목표 활동(예: 수출, 연구 개발)으로 전환하기 위해 취해지는 상대적 가격의 변화 노력이며, 이들은 모두 장기적으로 경제 활동의 구성을 전환하기 위한 목적으로 사용된다.
(Part B) National state implementation
Industrial policy is aimed at the stated goals at the level of the national economy. Specifically: industrial policy action is taken by a national, or extranationa, state. Thease actions are sanctioned and financed by national governments, supranational bodies, or amalgamations of these units.
(직역) 국가의 시행: 산업정책은 국가 경제 수준에서 명시된 목표를 지향한다. 구체적 정의: 산업정책의 조치들은 자국 또는 타국에 의해 취해진다. 그리고 산업정책의 조치들은 국가의 정부, 국제기구와 같은 초국가적 기구 또는 이들의 연합체에 의해 제재되거나 자금이 조달된다.

자료: Juhász et al.(2022)의 정의를 직역함

형 있는 발전을 도모한다.

- 고용 창출: 새로운 산업이나 성장 중인 산업 부문을 지원함으로써 고용의 기회를 확대하고 실업률을 감소시킨다.

Juhász et al.(2022)에서는 산업정책과 비산업정책을 <표 6-5>와 같이 예를 들어 설명하고 있다.

<표 6-5> 산업 및 비산업정책의 예

산업정책의 예: 중국(2017년)

In the PRC Ministry of Industry and Information Technology’s policy released on the 1st of March 2017, a plan is laid out to boost growth in the Chinese battery industry, batteries for automobiles. One of the instruments mentioned in the plan to be used to achieve this is the use of specific government ‘funds’ to invest into relevant firms. The release contemplates the establishment of an industry-specific development fund as well as utilizing existing government funds designated for the IT industry more generally.

(직역) 2017년 3월 1일, 발표된 중국 산업정보기술부의 정책에서 중국의 배터리 산업, 특히 자동차용 배터리 산업의 성장을 촉진하기 위한 계획이 제시되었다. 이를 달성하기 위한 조치 중 하나는 관련 기업에 투자하기 위한 특정한 정부의 ‘자금’ 사용 계획이다. 본 정책은 IT 산업을 위해 지정된 정부의 기금을 사용하는 것 외에도 특정 산업 개발을 위한 기금 설립을 고려한다.

비산업정책의 예: 태국(2016년)

On 21 April 2016, the Thai Ministry of Commerce announced a reduction in rice-growing zones to stabilise rice prices for the upcoming harvest season. The available area for rice harvest has been reduced from a total of 61.7 million rai to 55.8 million rai (9 hectares). The amendment comes in wake of an oversupply of rice, with affected areas reserved for other type of crops. In addition, the Ministry has encouraged rice mills to purchase paddy directly from the farmers in an effort to supplement the farmers’ income and incentives them to stop from further growing rice. The amendment is in effect from May 2016.

(직역) 2016년 4월 21일, 태국 상무부는 다가오는 수확기에서 쌀 가격을 안정시키기 위해 쌀 재배 지역의 축소를 발표하였다. 쌀 재배 면적은 총 6,170만 Rai에서 5,580만 Rai(9백만 헥타르)로 감소했다. 본 개정안은 쌀 과잉 공급에 따른 것으로, 영향을 받는 쌀 축소 지역은 다

른 농작물을 재배하도록 고려하였다. 부가적으로, 상무부는 농부들의 수입을 보완해 주고 쌀을 더 이상 재배하지 않도록 장려하기 위해 쌀 공장들이 직접 농부로부터 논을 구입하도록 장려하였다. 본 개정안은 2016년 5월부터 시행된다.

자료: Juhász et al.(2022) p.36의 예제를 직역함

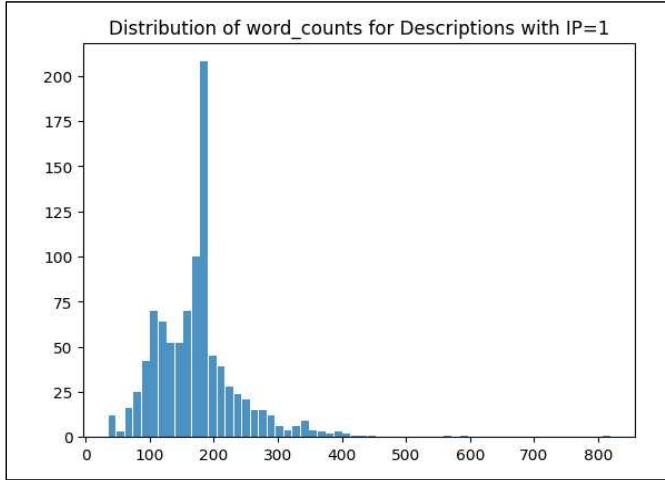
정의에서 중국이 발표한 산업정책은 (Part A) 정의와 (Part B) 정의를 모두 만족한다. 즉 (Part A)에서 보면, 정책의 목표는 자국의 배터리 생산을 지원하고 발전시키기 위해 국가 경제에서 배터리의 상대적 가격을 변경하고자 한다. (Part B)의 관점에서는 국가적 수준의 관리체제(산업정보기술부 관리)에서 수행된다는 점이 명백하게 확인된다.

반면, 태국이 발표한 정책은 비산업정책으로 분류한다. 왜냐하면 위 정책은 태국 정부가 자국의 쌀값을 안정시키기 위해 쌀의 공급과잉이라는 충격에 대응하고 있는 정책이기 때문이다. 정책의 목표로 볼 때, 농부들의 수입을 증대시키거나 사회복지적 차원의 목표를 가진다. 따라서 태국의 제한적 쌀 재배를 위해 발표한 정책은 산업정책의 (Part A)를 충족하지 못하고 있다. 즉, 정책입안자는 이 정책을 통해 경제 구조의 변화를 형성하려는 목표에 의한 동기를 가지고 있지 않다.

다. 라벨링 및 분류 결과

정책별 설명문을 이용하여 그 정책이 산업정책인지 비산업정책인지를 구분하기 위하여 전문가 5인의 분류 결과에 대해 다수결로 결정하여 최종 분류하였다. 학습 데이터로 사용되는 총 2,000개의 정책 중 산업정책(IP=1)은 958개, 비산업정책(IP=0)은 1,042개이다. 산업정책 설명문에 대한 단어의 수 분포는 [그림 6-8], 워드 클라우드(불용어 포함)는 [그림 6-9]와 같다.

[그림 6-8] 산업정책(IP=1) 설명문 단어의 수 분포



[그림 6-9] 산업정책(IP=1) 설명문의 워드 클라우드



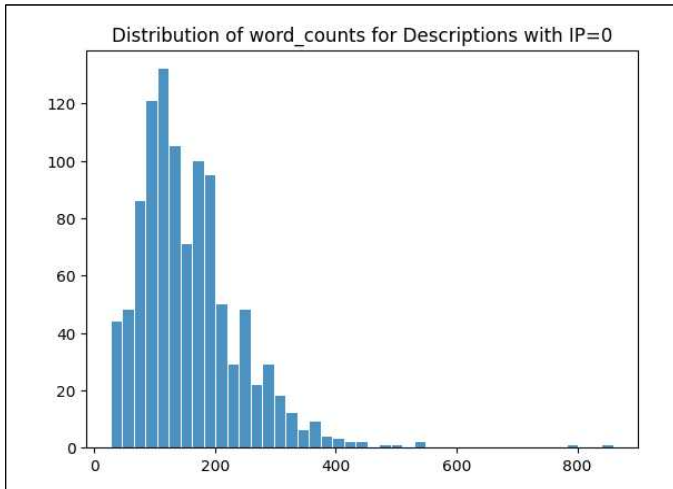
불용어 4,563개를 제외한 Description 설명문의 TF 상위 10개 단어는 <표 6-6>과 같다. 산업정책의 정의에서 상위 10개 단어들과 비교하면 IP=1인 TF에서 ‘state’라는 단어가 서로 일치한다.

〈표 6-6〉 산업정책(IP=1) 설명문의 TF 값 상위 10개 단어

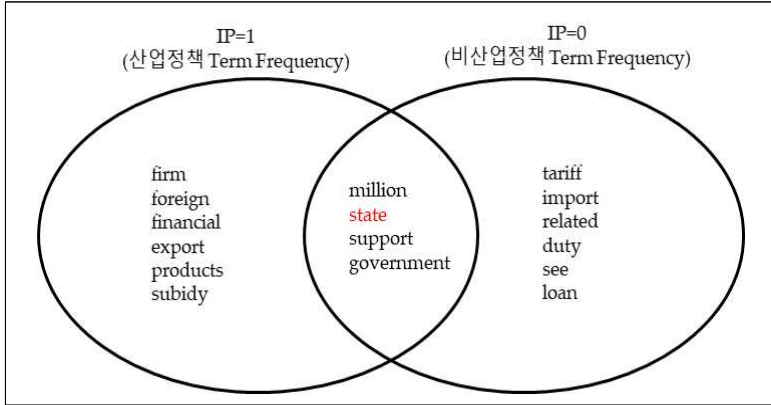
Word	TF	Word	TF
million	108.77	foreign	56.26
state	95.53	financial	49.32
support	75.38	export	48.92
firm	63.48	products	48.49
government	59.95	subsidy	48.38

IP=0인 비산업정책 설명문에 대한 분석 결과는 [그림 6-10]와 [그림 6-11]과 같다. 산업정책 설명문과 비교하여 왼쪽으로 치우친 분포(왜도>0)이고 비산업정책을 설명하기 위해 상대적으로 적은 수의 단어를 사용하고 있는 것으로 평가된다.

[그림 6-10] 비산업정책(IP=0) 설명문 단어의 수 분포



[그림 6-12] 산업정책과 비산업정책의 TF 상위 10개 단어



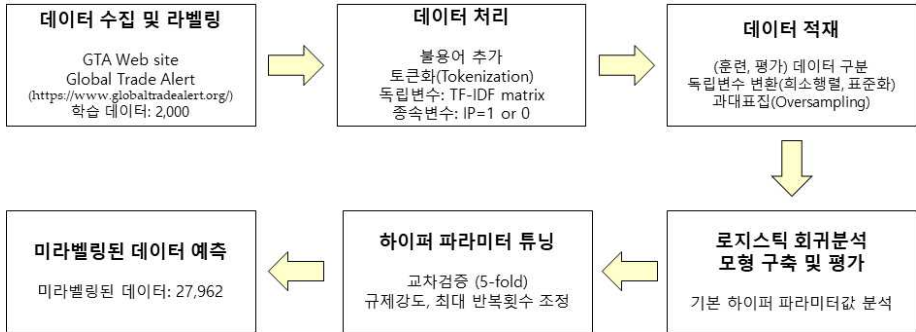
2. 로지스틱 회귀분석 모형

가. 분석 개요

[그림 6-13]은 로지스틱 회귀분석 모형을 이용한 학습 및 분류 예측 수행 절차이다. 먼저, GTA 웹사이트에서 학습에 필요한 데이터를 수집하고 산업정책인지 비산업정책인지를 분류한다. 그리고 영어 불용어를 지정하여 각 정책의 설명문에 대한 토큰화 작업을 수행하고 설명문별로 단어의 중요도를 TF-IDF 행렬로 변환한다. 데이터 학습을 수행하기 위해 무작위로 (훈련, 평가) 데이터를 구분한 후 독립변수에 대해 표준화 전처리 작업을 거치고, 과대표집(Oversampling) 기법을 통해 분류 항목의 수가 적은 종속변수에 대해 충분히 학습을 수행하도록 한다.

로지스틱 회귀분석을 이용하여 분류 모형을 구축하고 기본 하이퍼 파라미터에 대한 (훈련, 평가) 데이터의 성능을 평가한다. 아울러 교차검증, 규제 강도 및 최대 학습 반복 횟수를 조정하여 최적의 하이퍼 파라미터 값을 도출한다. 마지막으로 최적의 분류 분석모형을 이용하여 27,962개의 라벨링되지 않은 데이터에 대한 분류를 수행하고 평가한다.

[그림 6-13] 로지스틱 회귀분석 모형 구축 및 분석 절차



나. 분석 결과

1) 학습 데이터 수집 및 라벨링

학습에 필요한 2,000개의 데이터를 GTA Website⁶⁵⁾에서 수집하고 라벨링 작업을 수행한다. 발표일이 2018년 1월 1일부터 2023년 8월 25일까지인 정책을 수집하고 (산업, 비산업) 정책을 구분·분류(전문가 5명의 분류 결과에 대한 다수결 처리)하였다. 분류 결과, 총 2,000개의 정책 중 산업정책은 958개(47.9%), 비산업정책은 1,042개(52.1%)이다.

2) 데이터 처리

파이썬 nltk(Natural Language Toolkit) 라이브러리에 저장된 179개의 불용어를 포함하여 추가적으로 4,384개의 단어를 새로 지정하여 총 4,563개의 불용어를 정의하였다. 불용어는 [그림 6-14]와 같이 알파벳, 고유명사, 숫자, 시기(또는 시점)를 나타내는 단어, 화폐 단위, 전치사 등이 포함되며, 각 설명문별로 불용어가 제거된 단어들에 대한 TF-IDF 행렬(단어의 중요도)을 독립변수로 정의하고 해당 설명문에 대한 IP=1 또는 IP=0을 종속변수로 정의한다. 2,000개 학습 데이터에 대해 총 7,312개 단어들에 대한 TF-IDF 값의 상위 10개 단어는(million, state, firm, export, support, government, loan, tariff, aid, subsidy)이다.

65) <https://www.globaltradealert.org>

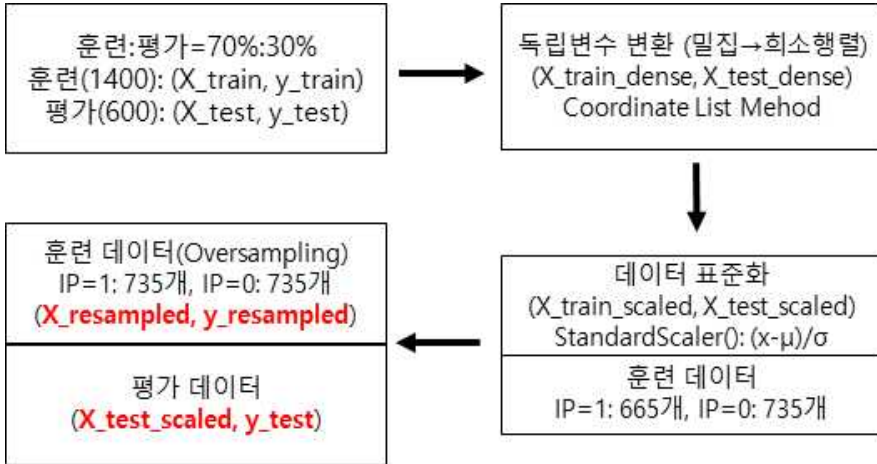
[그림 6-14] 데이터 처리 작업 결과

영어 불용어 (Natural Language Toolkit) 제공 stopwords 179개)		독립 변수	X: TF-IDF matrix (2000 × 7312) 상위 10개 단어 million, state, firm, export, support, government, loan, tariff, aid, subsidy
불용어 추가 (4,384개) 불용어: 총 4,563개			상위 10개 단어(TF, IP=1) million, state, support, firm, government, foreign, financial, export, products, subsidy
불용어 처리 기준 .알파벳(A, K 등) .고유명사(Brazil, Chinese 등) .숫자(second, two 등) .시기(October, November 등) .화폐단위(USD, euros 등) .전치사(of, among 등) .일반적 단어(also, well 등)			상위 10개 단어(TF, IP=0) million, state, tariff, import, related, duty, government, support, see, loan
		종속 변수	IP = 1: Industrial Policy (산업정책) IP = 0: Non IP (비산업정책)

3) 데이터 적재

훈련:평가=70%:30%로 랜덤하게 선정하여 총 2,000개 데이터 중 학습 데이터 1,400개, 평가 데이터 600개로 구분한다. TF-IDF 값으로 저장된 독립변수를 희소행렬로 변환하기 위해 CLM(Coordinate List Method, 데이터가 가리키는 (행, 열)의 위치를 배열에 저장) 방법을 이용하고, 독립변수에 대한 데이터 표준화 작업((값-평균)/표준편차)을 수행한다. 70%의 훈련 데이터 중 IP=1은 665개 (47.5%), IP=0은 735개(52.5%)로 IP=0인 분류값과 동일하게 학습을 진행하기 위해 IP=1인 항목에 대해 과대표집(Oversampling) 기법을 이용하여 산업정책 설명문에 대해 추가적으로 학습하도록 하여 IP=1과 IP=0인 학습 데이터의 수를 735개로 조정한다.

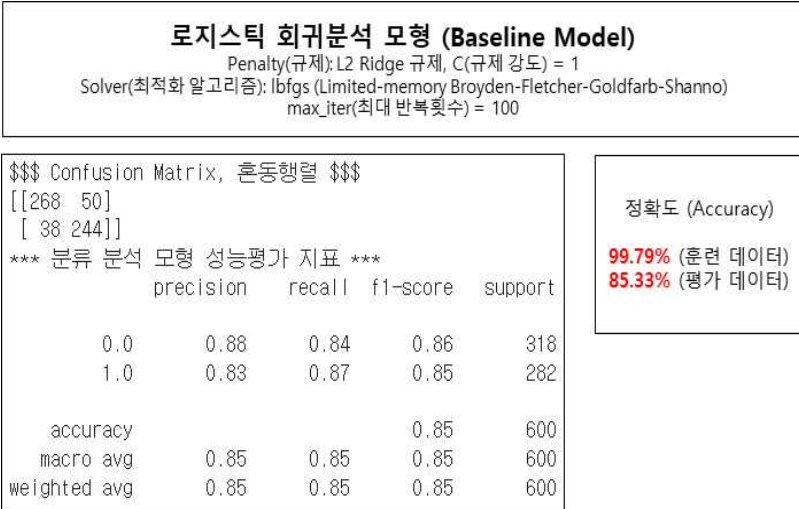
[그림 6-15] 데이터 적재 작업 결과



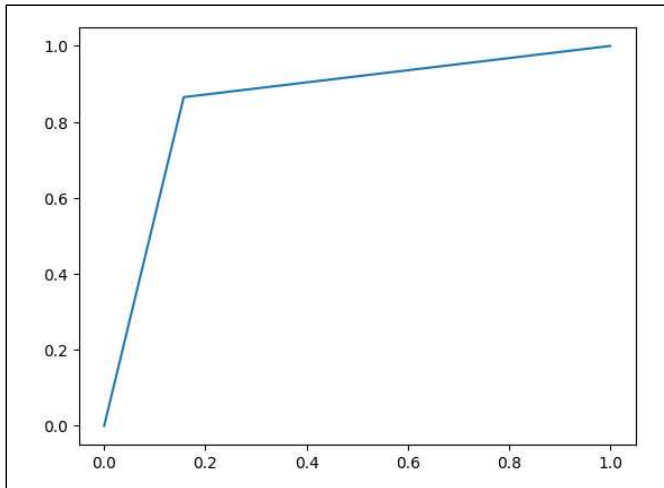
4) 로지스틱 회귀분석 모형 구축 및 평가

기본 하이퍼 파라미터 값을 가지는 Baseline 로지스틱 회귀분석 모형에 대한 성능분석 결과는 [그림 6-16]과 같다. Baseline 모형의 경우 Ridge 규제, C=1, lbfgs 최적화 알고리즘, 최대반복횟수=100의 값으로 지정된다. 분석결과, 훈련 데이터에 대한 정확도는 99.79%인 반면, 평가 데이터의 경우 정확도가 85.33%로 다소 과대적합된 성능을 보인다. 그러나 [그림 6-17]의 ROC 곡선으로부터 구한 AUC=0.854로 Baseline 모형의 경우에도 우수한 모형으로 평가된다. 혼동 행렬 분석 결과, IP=1인 282개의 데이터 중 244개를 정확하게 분류하였고 나머지 38개를 비산업정책으로 분류하여 오류를 나타내었으며, IP=0인 318개의 비산업정책에 대해 268개를 정확하게 분류하고, 나머지 50개를 산업정책으로 잘못 예측하였다.

[그림 6-16] 로지스틱 회귀분석 모형 분석 결과(Baseline 모형)



[그림 6-17] 로지스틱 회귀분석 모형 분석 ROC 곡선(Baseline 모형)

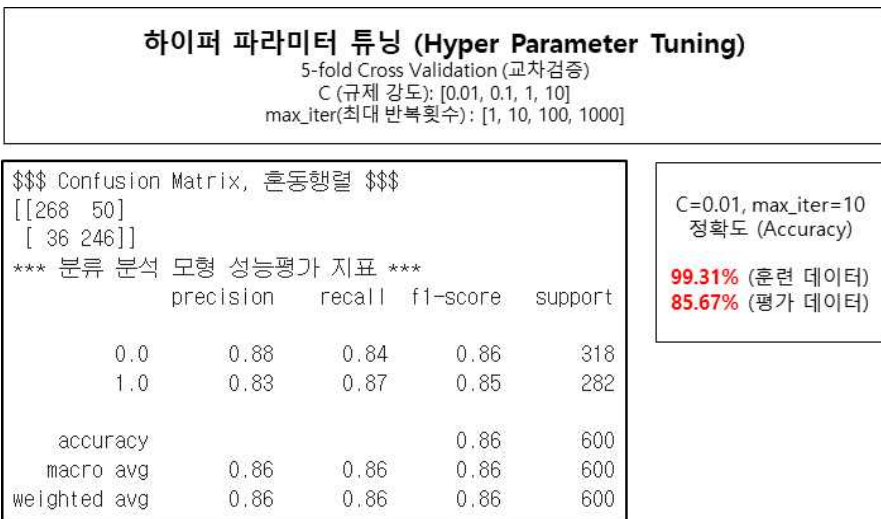


5) 하이퍼 파라미터 튜닝(Hyper Parameter Tuning)

규제 강도(C)와 최대 반복 횟수(max_iter)의 하이퍼 파라미터를 이용하여 교차 검증을 실시한 후, 최적의 파라미터 값을 C=0.01, max_iter=10로 구할 수 있다.

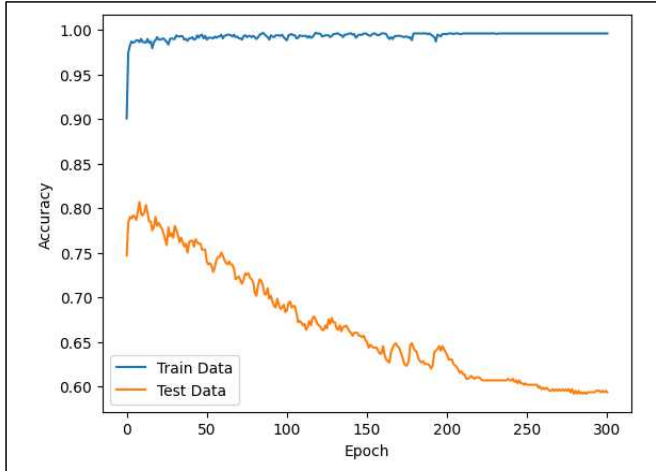
최적 파라미터 값 적용 결과, [그림 6-18]과 같이 평가 데이터에 대한 정확도가 85.67%, AUC=0.8576로 Baseline 모델과 비교하여 약간 성능이 개선되었다. 이는 혼동행렬 결과로부터 IP=1로 정확하게 분류한 데이터가 2개 더 포함되었기 때문이다.

[그림 6-18] 최적 하이퍼 파라미터 적용 결과



[그림 6-19]는 학습 데이터에 대해 최대 학습 사용주기(Epoch, 모형이 전체 학습 데이터셋을 한 번 통과시키는 횟수)를 변경하면서 확률적 경사하강법(손실 함수, loss='log', max_iter=100, batch_size=1)을 적용한 결과이다. Epoch가 증가함에 따라 훈련 데이터에 대한 성능은 크게 변함이 없고, 평가 데이터에 대한 정확도는 60~80%이다.

[그림 6-19] 확률적 경사 하강법 적용 결과



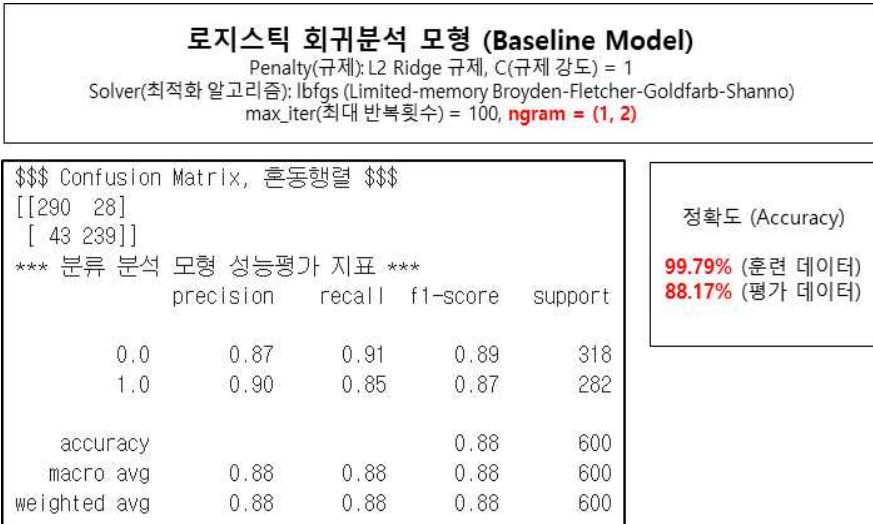
설명문에 대한 토큰화 수행 결과를 이용하여 N-gram 기법을 적용한 결과는 <표 6-8>과 같다. N-gram=(1, 2)로 특성의 개수를 67,360개로 확장하여 2개의 연속된 단어를 특성으로 추가·분석할 때 평가 데이터에 대한 분류 예측 성능의 정확도는 88.17%로 향상되었다. 그러나 N-gram을 3 이상으로 증가하여 특성의 개수를 더 증가시키더라도 분류 정확도는 크게 향상되지 않는다.

<표 6-8> N-gram 수행 결과

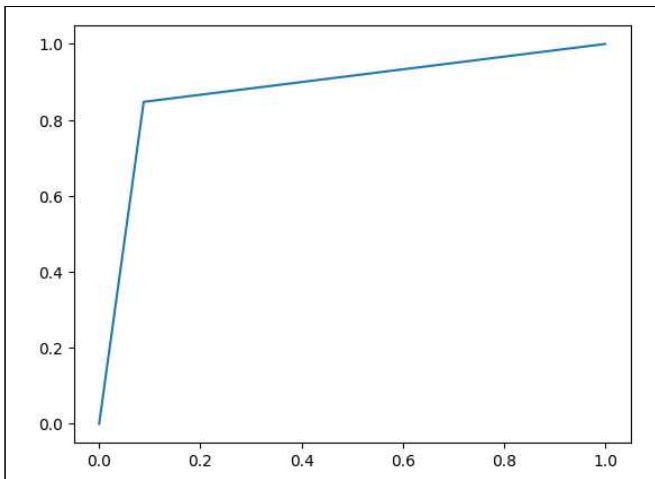
N-gram	특성의 개수	훈련 데이터 정확도(%)	평가 데이터 정확도(%)	AUC
(1, 2)	67,360	99.79%	88.17%	0.8797
(1, 3)	149,200	99.79%	86.50%	0.8606
(1, 4)	238,732	99.79%	84.17%	0.8362
(2, 3)	141,888	99.79%	84.17%	0.8356
(2, 4)	231,420	99.79%	82.17%	0.8143

N-gram=(1, 2)에 대한 성능분석 결과와 ROC 곡선은 각각 [그림 6-20]과 [그림 6-21]과 같다. 훈련 데이터에 대한 정확도는 99.79%이고 평가 데이터에 대한 정확도는 88.17%(AUC=0.8797)로 다소 개선되었다.

[그림 6-20] N-gram=(1, 2)에 대한 성능분석 결과



[그림 6-21] N-gram=(1, 2)에 대한 ROC 곡선



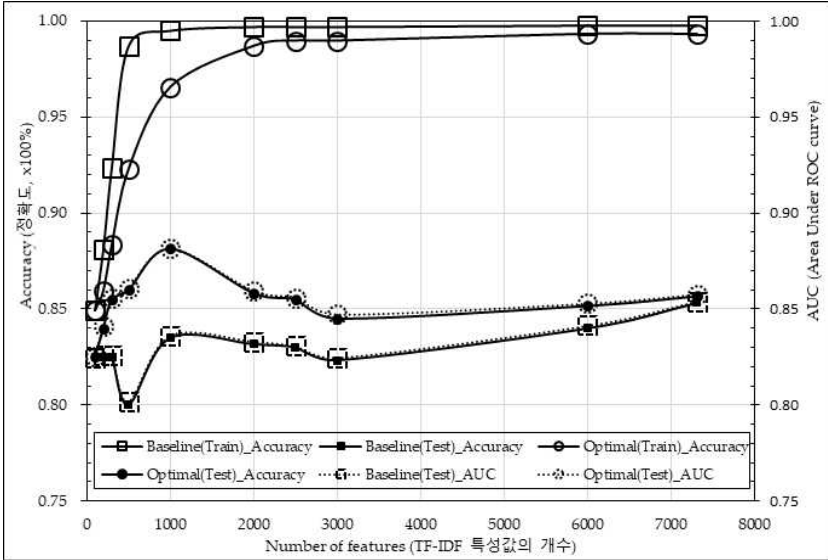
6) 과대적합 해결 방법

로지스틱 회귀분석 모형 적용 결과, 과대적합 문제가 발생하는 경우 이를 해결하기 위해 일반적으로 데이터 증강(더 많은 데이터 수집 및 훈련), 규제 강도 조절, 교차검증 방법 이외, 불필요한 특성 제거(모델의 복잡도 감소), 앙상블 모형 적용, 조기 종료(Early Stopping) 기법 등을 이용(Sherzodjon, 2023)한다.

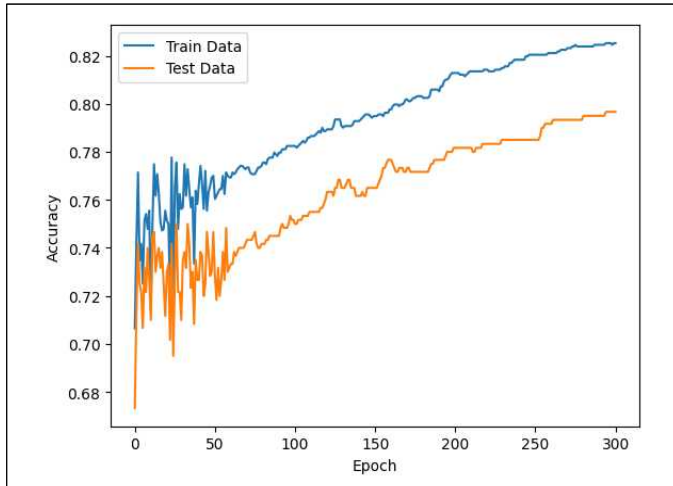
Baseline과 교차검증에서는 7,312개의 TF-IDF 값을 학습 데이터로 이용하였으나, 특성의 수를 줄여 TF-IDF 값이 가장 큰 순서대로 특성의 수를 변화시키면서 Baseline 모델과 최적 하이퍼 파라미터를 적용하여 성능을 비교할 수 있으며, [그림 6-22]는 그 결과이다. 특성의 수가 1,000개 이하에서 훈련 및 평가 데이터에 대한 정확도가 83~88%로 서로 비슷하게 유지되어 과대적합의 문제가 해결된다. Baseline 모형의 경우 특성의 개수가 증가함에 따라 평가 데이터에 대한 정확도와 AUC 값이 증가하지만, 최적 하이퍼 파라미터를 적용하는 경우 적절한 특성의 개수(1,000개)로도 평가 데이터에 대한 성능이 정확도=88%(AUC=0.8817)로 유지된다.

특성의 수가 100개 또는 1,000개인 경우 확률적 경사하강법 적용 결과(손실함수(loss='log'), max_iter=100, batch_size=1)는 각각 [그림 6-23], [그림 6-24]와 같다. 특성의 수=100개일 때 훈련 데이터를 반복 학습하는 Epoch가 증가함에 따라 성능이 개선되고 과대적합이 발생하지 않는다. 그러나 평가 데이터에 대한 분류 정확도는 70~80%로 Baseline 모델과 비교하면 성능이 다소 저하된다. 반면, 특성의 수가 1,000개인 경우 조기 Epoch 값에도 과대적합이 발생하고, 분류 정확도=80~85%의 성능을 보인다.

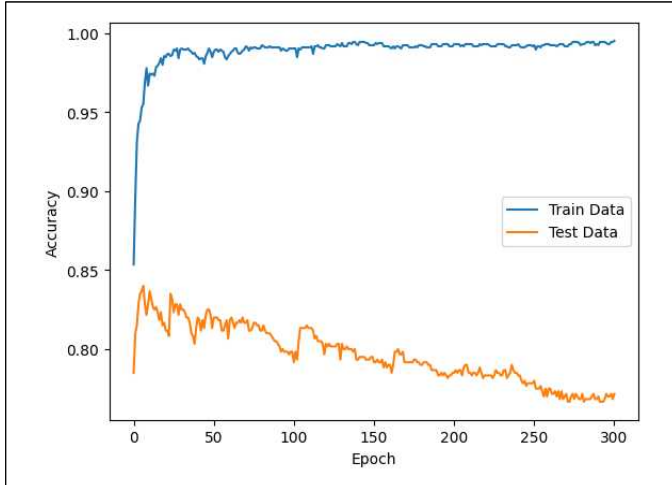
[그림 6-22] 특성의 수에 따른 정확도 및 AUC



[그림 6-23] 확률적 경사 하강법 적용 결과(특성의 수=100개)



[그림 6-24] 확률적 경사 하강법 적용 결과(특성의 수=1,000개)



위와 같이 특성의 수를 작게 하여 확률적 경사하강법 적용 결과, 과대적합 문제는 해결할 수 있으나, (훈련, 평가) 데이터에 대한 분류 예측의 정확도 성능은 모든 특성을 반영하는 경우와 비교하여 크게 개선되지 않는다. 그리고 Baseline 모델과 비교하여 최적의 하이퍼 파라미터를 사용하고 적절한 특성의 개수를 설정하는 경우 성능이 개선됨을 확인할 수 있다.

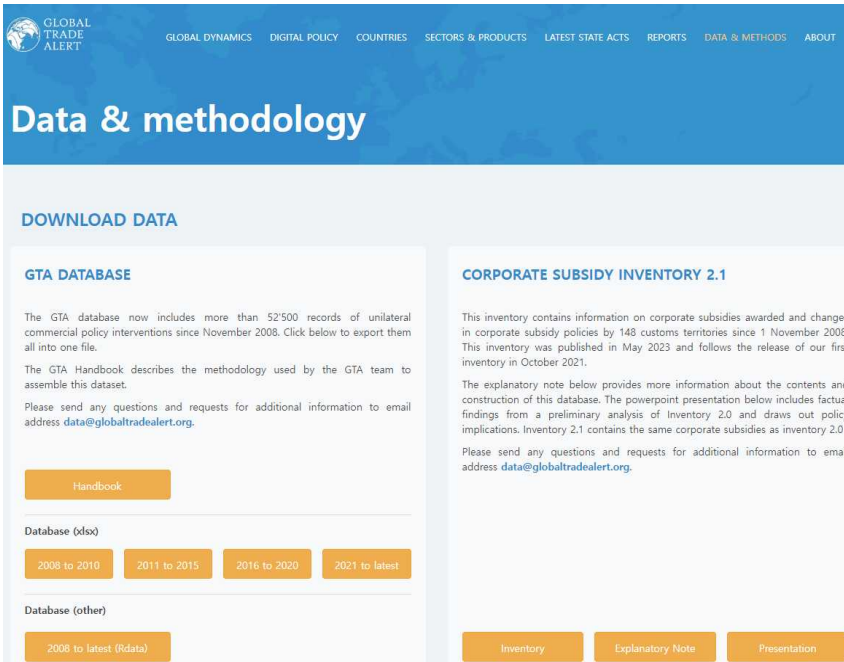
아울러 모든 특성을 반영하여 적용하는 경우 Baseline 모델은 정확도=85.3%, 최적의 하이퍼 파라미터를 적용한 결과는 정확도=85.7%를 보여 약간 성능이 개선됨을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 라벨링되어 있지 않은 데이터에 대해 모든 특성을 고려하고 최적의 하이퍼 파라미터($C=0.01$, $\text{max_iter}=10$)를 적용하여 분류 예측을 수행한다.

3. 산업정책 분류 결과

가. 기술통계 분석

Global Trade Alert 웹사이트⁶⁶⁾에서 [그림 6-25]와 같이 국가별 발표 정책에 대한 정보를 확인할 수 있다. [DATA & METHODS] 메뉴에서는 2008년부터 현재까지 연도별 데이터베이스(.xlsx) 파일과 R을 이용한 데이터 분석에 사용할 수 있는 Rdata 파일을 제공한다.

[그림 6-25] GTA 글로벌 정책 정보



그리고 [그림 6-26]과 같이 [LATEST STATE ACTS] 메뉴를 이용하여 각각의 정책에 대한 정책 설명문(Description)을 수집한다.

66) https://www.globaltradealert.org/data_extraction

[그림 6-26] GTA 정책 설명문(Description)

The screenshot shows the 'Latest State Acts' page on the Global Trade Alert website. It features a navigation bar with categories like 'GLOBAL DYNAMICS', 'DIGITAL POLICY', 'COUNTRIES', 'SECTORS & PRODUCTS', 'LATEST STATE ACTS', 'REPORTS', 'DATA & METHODS', and 'ABOUT'. The main heading is 'Latest State Acts' with an 'Export' button. Below the heading, there is a filter for 'State Acts (50997)'. The main content area is titled 'IMPLEMENTING COUNTRY: INTERVENTION SUMMARY' and contains a table with columns for 'AFFECTED SECTORS' and 'AFFECTED PRODUCTS'. The table lists three interventions with their respective announcement dates and descriptions. To the right of the table is a 'DATA SELECTION' panel with dropdown menus for 'Commercial flow' and 'Flows affected', both currently set to 'all'.

IMPLEMENTING COUNTRY: INTERVENTION SUMMARY	AFFECTED SECTORS	AFFECTED PRODUCTS	DATA SELECTION
<p>▲ Announced: 28 Nov 2023</p> <p>United Kingdom: Government launches the Advanced Manufacturing Plan State aid, unspecified</p>	<p>171 352 354 431 439 449 461 463 464 469 471 475 (+3 more)</p>	<p>N/A</p>	<p>Commercial flow ? all</p> <p>Flows affected ? all</p>
<p>▲ Announced: 23 Nov 2023</p> <p>EU: Commission launches the new European Hydrogen Bank Price stabilisation</p>	<p>342</p>	<p>2804 2806</p>	
<p>▲ Announced: 23 Nov 2023</p> <p>United Kingdom: British Business Bank launches GBP 130 million Investment Fund for Wales to support small businesses across the region Capital injection and equity stakes (including bailouts), State loan</p>	<p>N/A</p>	<p>N/A</p>	

[그림 6-27]과 같이 정책 분류가 되지 않은 데이터는 총 27,962개이다. 분석 대상의 정책 발표 일자(Announcement Date)는 2018년 1월 1일부터 2023년 8월 25일까지이며, 각 정책의 Description을 이용하여 학습된 로지스틱 회귀분석 모형으로 산업정책과 비산업정책을 분류한다.

[그림 6-27] 라벨링되지 않은 데이터의 속성 및 기술통계량

```

> nrow(df)
[1] 27962
> ncol(df)
[1] 18
> summary(df)
  State Act ID      Intervention ID      State Act Title      Announcement Date
Min.   : 2668      Min.   : 60043          Length:27962          Min.   :2018-01-01 00:00:00.00
1st Qu.:45645      1st Qu.: 81915          Class :character      1st Qu.:2020-01-01 00:00:00.00
Median :59163      Median : 98657          Mode  :character      Median :2021-01-01 00:00:00.00
Mean   :56858      Mean   : 96120                                     Mean   :2020-12-13 17:06:31.13
3rd Qu.:68671      3rd Qu.:111172                                     3rd Qu.:2022-03-15 00:00:00.00
Max.   :77426      Max.   :122362                                     Max.   :2023-08-25 00:00:00.00

Implementing Jurisdiction Implementation Level Eligible Firms      Intervention Type
Length:27962          Length:27962          Length:27962          Length:27962
Class :character      Class :character      Class :character      Class :character
Mode  :character      Mode  :character      Mode  :character      Mode  :character

Description
Length:27962
Class :character
Mode  :character

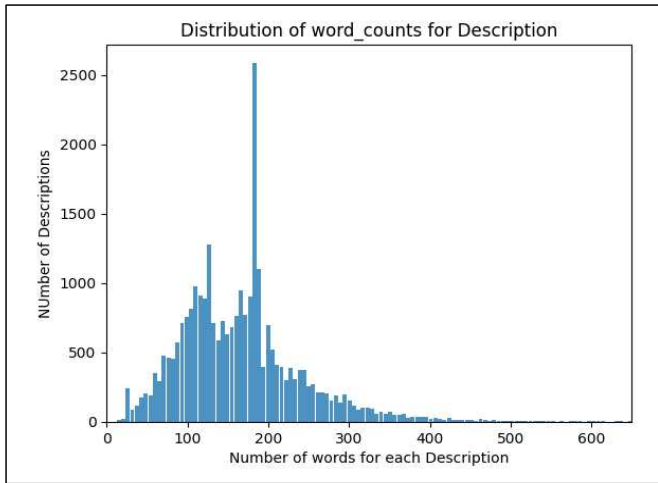
GTA Evaluation      Currently in force      Inception Date          Removal Date
Length:27962        Length:27962           Min.   :2011-04-05 00:00:00.00      Min.   :2016-05-18 00:00:00.00
Class :character    Class :character       1st Qu.:2020-01-01 00:00:00.00      1st Qu.:2020-12-31 00:00:00.00
Mode  :character    Mode  :character       Median :2021-01-01 00:00:00.00      Median :2022-03-31 00:00:00.00
Mean   :2020-12-26 04:41:58.24        Mean   :2022-07-24 00:21:26.41
3rd Qu.:2022-03-25 00:00:00.00        3rd Qu.:2023-05-15 00:00:00.00
Max.   :2032-12-31 00:00:00.00        Max.   :2060-04-26 00:00:00.00
NA's   :783                            NA's   :20574

MAST chapter      Affected Sectors      Affected Products      Affected Jurisdiction      IP
Length:27962      Length:27962          Length:27962           Length:27962               Mode:logical
Class :character  Class :character      Class :character       Class :character           NA's:27962
Mode  :character  Mode  :character      Mode  :character       Mode  :character
    
```

먼저, 2018년 1월에서 2023년 8월까지 발표일 기준으로 연도별 정책의 수를 나타내면 [그림 6-28]과 같다. 세계적으로 코로나 확진자가 최고점에 이른 2020년에 6,926개로 가장 많고, 이후 연도별로 약 5,800여 개의 정책이 발표되었다. 2023년은 1월에서 8월까지의 자료로 다른 해보다 그 수가 적다.

양값 163개, 3사분위값(하위 75%)은 198개이다.

[그림 6-30] 정책에 포함된 단어의 수 분포

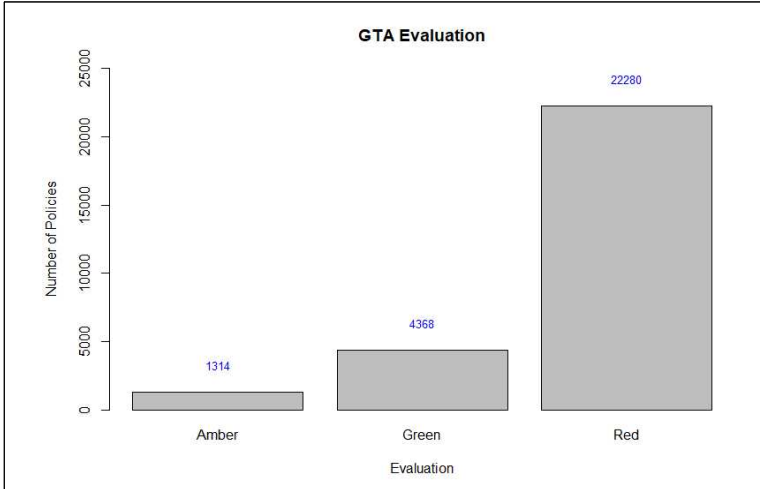


[그림 6-31]은 연도별 GTA 평가(GTA Evaluation, 신호등 표기)에 대한 빈도 수이다. GTA에서는 자체적으로 다음과 같이 정책을 세 가지로 분류한다(Evenett and Fritz, 2020).

- Red Triangle(빨강색): 해당 정책은 거의 확실하게 다른 나라의 상업적 이익을 차별한다.
- Amber Triangle(노랑색): 다른 나라의 상업적 이익에 대한 차별을 다소 포함하고 있다.
- Green Triangle(초록색): 우호적이고 비차별적이며 투명성을 지향하는 정책이다.

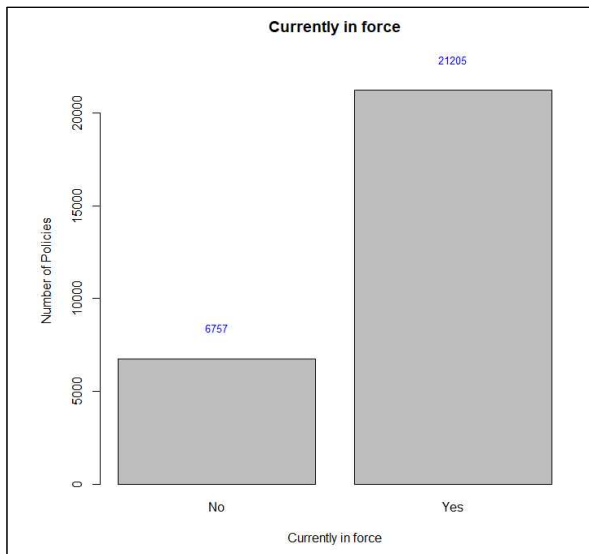
전체 27,962개의 정책 중 Red=22,280개(79.7%), Green=4,368개(15.6%), Amber=1,314개(4.7%)로 Red에 속한 정책이 대부분이다.

[그림 6-31] GTA 평가(GTA Evaluation)



2023년 8월 기준으로 발효 중(Currently in force)인 정책은 21,205개 (75.8%), 미발효 정책은 6,757개(24.2%)이다.

[그림 6-32] 발효 중인 정책의 수(Currently in Force, 2023.8.25. 기준)



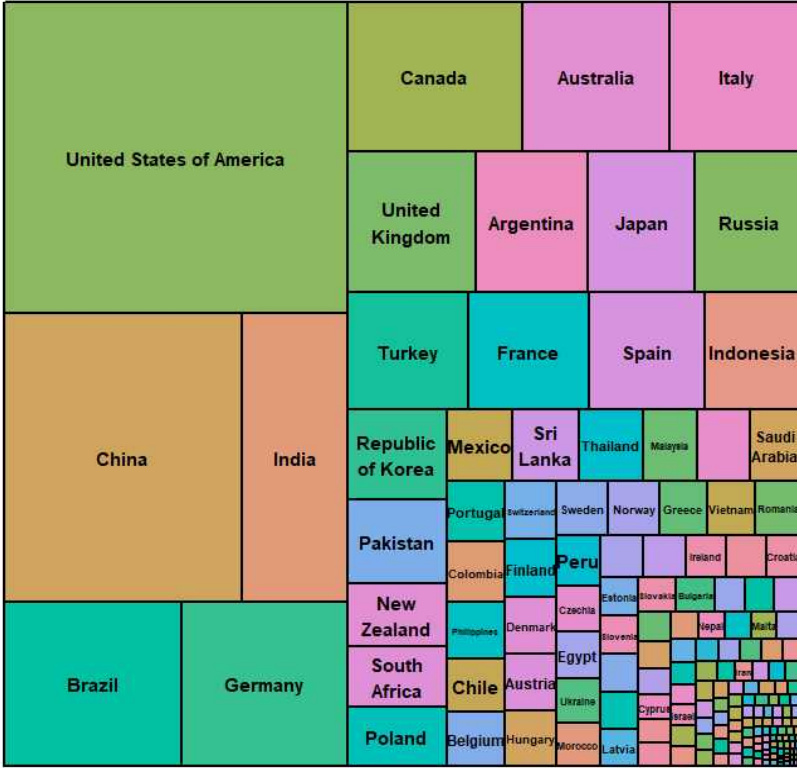
시행 관할국이 대한민국인 경우의 정책의 수는 412개이며, [그림 6-33]은 국가별 정책의 수이다. 미국(United States of America)이 4,905개로 가장 많고, 중국(China)이 3,147개, 인도(India) 1,406개, 브라질(Brazil) 1,335개, 독일(Germany) 1,242개 순이다.

[그림 6-33] 시행 관할국별 정책의 수(Implementing Jurisdiction)

United States of America 4905	China 3147	India 1406	Brazil 1335	Germany 1242	Canada 1193
Australia 1011	Italy 899	United Kingdom 834	Argentina 729	Japan 698	Russia 695
Turkey 651	France 646	Spain 621	Indonesia 522	Republic of Korea 412	Pakistan 377
New Zealand 291	South Africa 272	Poland 269	Mexico 215	Sri Lanka 215	Thailand 211
Malaysia 174	Netherlands 172	Saudi Arabia 170	Portugal 163	Colombia 161	Philippines 151
Chile 147	Belgium 142	Switzerland 140	Finland 137	Denmark 136	Austria 135
Hungary 130	Sweden 130	Norway 129	Greece 121	Vietnam 120	Romania 116
Peru 100	Czechia 83	Egypt 92	Ukraine 89	Morocco 85	Bangladesh 83
Kazakhstan 83	Ireland 77	Singapore 76	Croatia 68	Estonia 67	Slovenia 66
Kyrgyzstan 65	Lithuania 65	Latvia 62	Slovakia 62	Bulgaria 61	Belarus 49
Luxembourg 45	Nigeria 45	United Arab Emirates 45	Chinese Taipei 41	Ecuador 41	Cyprus 39
Myanmar 35	Namibia 35	Serbia 34	Nepal 33	Bolivia 32	Malta 32
Kenya 31	Panama 27	Botswana 26	Armenia 24	Israel 24	Uzbekistan 24
Algeria 23	Paraguay 23	Swaziland 23	Ghana 22	Zimbabwe 22	Costa Rica 20
Uruguay 19	Tunisia 17	Iran 16	Dominican Republic 15	Madagascar 15	Lesotho 15
Venezuela 15	Jordan 13	Oman 13	Guatemala 12	Rwanda 12	Zambia 12
Cambodia 10	El Salvador 9	Mozambique 10	Qatar 9	Angola 9	Azerbaijan 9
Ethiopia 9	Montenegro 9	Iceland 9	Macedonia 9	Mali 9	Mauritius 9
Albania 7	Honduras 7	Ivory Coast 7	Nicaragua 7	Tanzania 7	Uganda 7
Cameroon 6	Georgia 6	Laos 6	North Macedonia 6	Bahrain 5	Benin 5
DR Congo 5	Guinea 5	Ruwait 5	Mongolia 5	Republic of Moldova 5	Seychelles 5
Togo 5	Burkina Faso 4	Cape Verde 4	Hong Kong 4	Niger 4	Saint Vincent & the Grenadines 4
Samoa 4	Syria 4	Congo 4	Cuba 3	Gambia 3	Iraq 3
Lebanon 3	Liberia 3	Malawi 3	Maldives 3	Senegal 3	Solomon Islands 3
Suriname 3	Anguilla 2	Antigua & Barbuda 2	Belize 2	Bermuda 2	Burundi 2

시행 관할국에 대한 빈도수를 트리맵(Tree map)으로 시각화하면 [그림 6-34]와 같다. 빈도(정책)수가 많을수록 사각형의 크기가 크게 표현(사각형 면적이 넓음)된다. [그림 6-33] 결과와 동일하게 미국, 중국, 인도, 브라질, 독일, 캐나다, 호주, 이탈리아 순서를 확인할 수 있으며 우리나라는 412개의 정책을 발표하여 인도네시아, 파키스탄과 비슷한 규모이다.

[그림 6-34] 시행 관할국별 정책의 수(Implementing Jurisdiction) 트리맵



GTA에 의해 모니터링되는 개입(Intervention Type)은 다음과 같이 크게 9개의 유형을 가진다.

- Capital controls and exchange rate policy(자본통제 및 환율정책): 개인 거래, 상거래, 투자 상품, 여신 업무 등의 통제. 경쟁적 평가 절하, 송환, 무역 대금 통제
- Export and import policy instruments(수출 및 수입 정책): 수출금지, 수출허가 요건, 수출 할당량, 보조금, 관세 할당, 수출 세금, 장려금, 비관세 조치 등, 수입 금지, 수입 인센티브, 수입 라이선스, 수입 쿼터, 수입관세, 비관세 조치, 내부관세, 외국 고객 유치, 무역 균형 조치, 무역 금융, 무역 대금 지

급 등 통제

- Foreign investment policy(외국인 투자 정책): FDI(Foreign Direct Investment, 외국인직접투자)에 대한 진입 및 소유권, 금융 인센티브, 행정 조치 및 운영 등
- Labor force migration policy(노동력 확보): 노동시장의 접근성, 확보 후 행정 조치 등
- Localisation policy(현지화 전략): 지역 노동력 확보, 지역 운영, 로컬 소싱 등
- Public procurement policy(공공 조달 정책): 공공 조달 접근성, 현지화 정책, 우대 마진 제공, 공공 조달 정책 등
- Subsidies and state aid(보조금 및 국고보조금): 구제금융(자본투입, 지분 참여), 해외 시장 금융지원, 재정 교부금, 현물보조, 이자지급 보조, 생산 보조, 국고 대출, 세금 또는 사회보험 구제, 국가 보조 등
- Trade defence instruments(방어적 수단외 무역): 저작 및 소유권 보호, 반 덤핑, 보조금 반환, 수입 제한 및 관세 부과 등의 세이프가드 조치 등
- Other instruments(기타 유형): 지적재산권 보호, 위생 및 식물 위생 조치, 기술적 장벽 조치 등

[그림 6-35]는 각 정책에 대한 Intervention Type의 수이다. 개입 유형은 Financial grant(재정보조)가 5,495건으로 가장 많고, 이어 State loan(국가의 차관 지원)=4,160, Import tariff(수입 관세 정책)=3,568, Trade finance(무역 금융지원)=1,502, Loan guarantee(지급 보증)=1,268건 순이다.

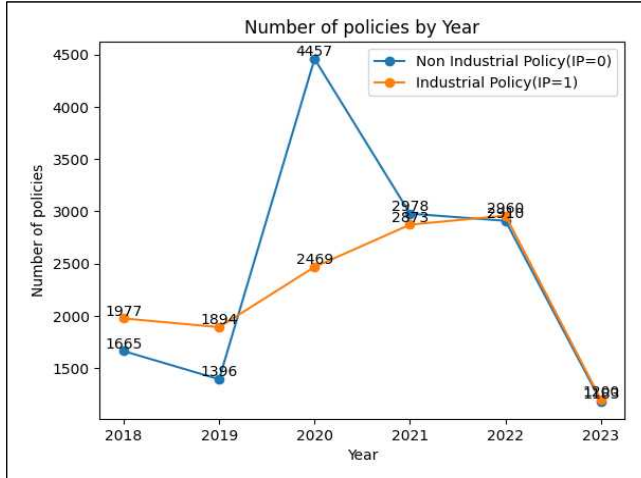
[그림 6-35] 개입 유형(Intervention Type)

Financial grant	5495	State loan	4160	Import tariff	3568
Trade finance	1502	Loan guarantee	1268	Tax or social insurance relief	1065
Financial assistance in foreign market	135	Public procurement localisation	697	State aid, unspecified	659
Local value added incentive	651	Anti-dumping	521	Capital injection and equity stakes (including bailouts)	614
Production subsidy	579	Export tax	505	Export ban	505
Import tariff quota	491	Price stabilisation	404	Internal taxation of imports	367
FDI: Entry and ownership rule	364	Import licensing requirement	323	Export licensing requirement	317
Controls on commercial transactions and investment instruments	303	Local content incentive	296	Import ban	279
Anti-subsidy	150	Export quota	142	Interest payment subsidy	135
Labour market access	127	Safeguard	109	Tax-based export incentive	105
Other export incentive	105	Import-related non-tariff measure, nso	97	Local content requirement	105
FDI: Treatment and operations, nes	101	Import quota	75	Instrument unclear	75
Public procurement, nes	75	FDI: Financial incentive	64	In-kind grant	63
Export-related non-tariff measure, nes	62	State aid, nes	61	Local operations requirement	42
Trade payment measure	41	Public procurement access	40	Export subsidy	35
Local labour requirement	39	Import incentive	29	Controls on credit operations	27
Anti-circumvention	24	Public procurement preference margin	24	Local supply requirement for exports	25
Localisation, nes	14	Import monitoring	15	Control on personal transactions	11
Local labour incentive	11	Local operations incentive	8	Export tariff quota	7
Intellectual property protection	7	Post-migration treatment	7	Foreign customer limit	6
Special safeguard	6	Repatriation & surrender requirement	2	Local value added requirement	1

나. 분석 결과

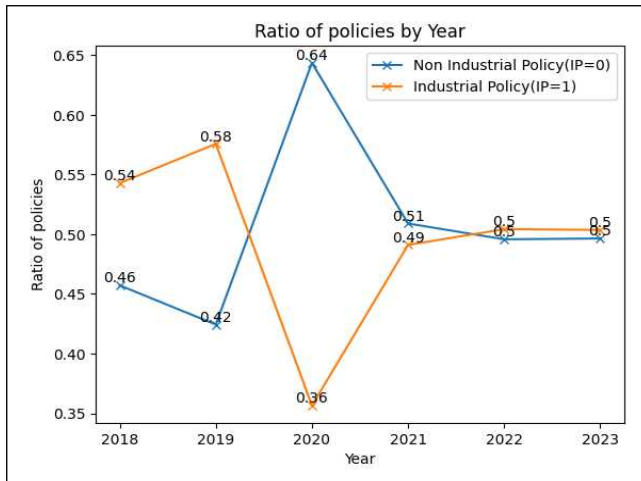
최적 하이퍼 파라미터 값을 이용한 로지스틱 회귀분석 모형의 분류 결과는 [그림 6-36]이다. 2018년 1월부터 2023년 8월까지 총 27,962개의 정책 중 산업정책이 13,373개(47.8%), 비산업정책이 14,589(52.2%)를 차지한다. 연도별로 보면, 2018~2019년에는 산업정책의 수가 많고, 2020년에는 비산업정책의 수가 4,457개로 증가한 후, 2021~2022년 사이에는 서로 비슷한 규모를 보이고 있다. 2020년은 국제적으로 COVID-19의 극복을 위한 비상정책들이 많이 발표되었으며 이는 산업정책으로 분류되지 않았다. 2023년은 1월부터 8월까지의 자료로 다른 연도와 비교하여 상대적으로 발표 정책의 건수가 적다.

[그림 6-36] 연도별 산업 및 비산업 정책의 수



주: 2023년은 8월까지의 자료이므로 단순 수치 비교에 주의할 필요가 있음

[그림 6-37] 연도별 산업 및 비산업정책의 비율



[그림 6-37]은 연도별 (산업, 비산업) 정책의 비율이다. 2020년에는 비산업정책이 64%로 산업정책(36%)과 비교하여 많은 수의 비산업정책이 발표되었으며, 이후 그 비율은 비슷하다.

3단계 GTA 평가 결과는 <표 6-9>와 같고, 정책별로 볼 때 'Red' 분류 항목이 가장 많다. 산업정책의 경우에는 'Amber'가 'Green' 정책의 수보다 많지만, 반대로 비산업정책의 경우에는 'Green' 정책이 'Amber'보다 많다.

<표 6-9> 산업 및 비산업 정책별 GTA 평가

구분	GTA Evaluation			합계
	Amber	Green	Red	
산업 정책(IP=1)	748	410	12,215	13,373
비산업 정책(IP=0)	566	3,958	10,065	14,589
합계	1,314	4,368	22,280	27,962

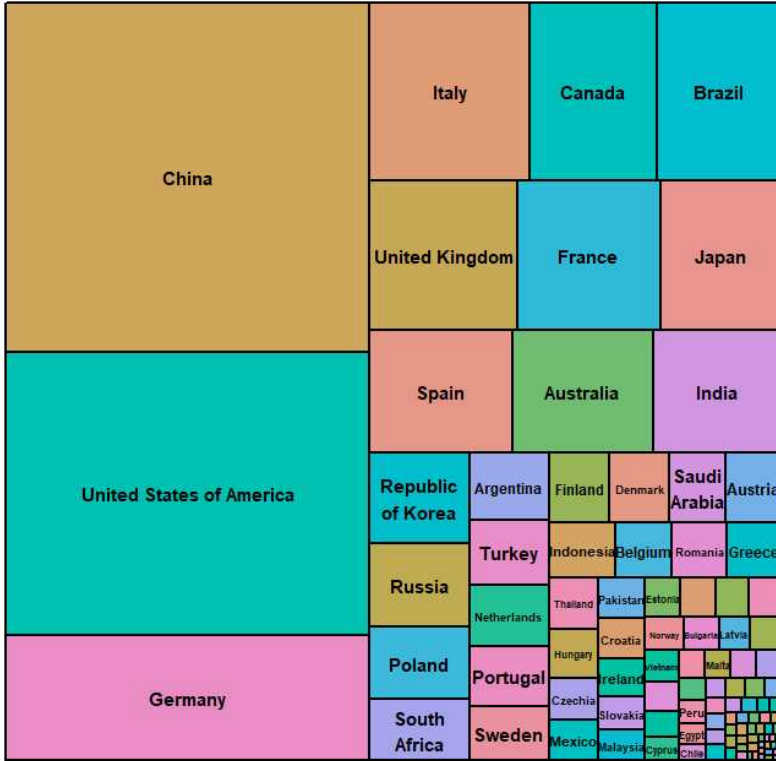
2023년 8월 기준으로, <표 6-10>과 같이 발효 중인 정책의 수는 21,205건 (75.8%)이다.

<표 6-10> 산업 및 비산업 정책별 발효중인 정책(2023년 8월 기준)

구분	Currently in force		합계
	Yes(발효중)	No(비발효)	
산업 정책(IP=1)	12,036	1,337	13,373
비산업 정책(IP=0)	9,169	5,420	14,589
합계	21,205	6,757	27,962

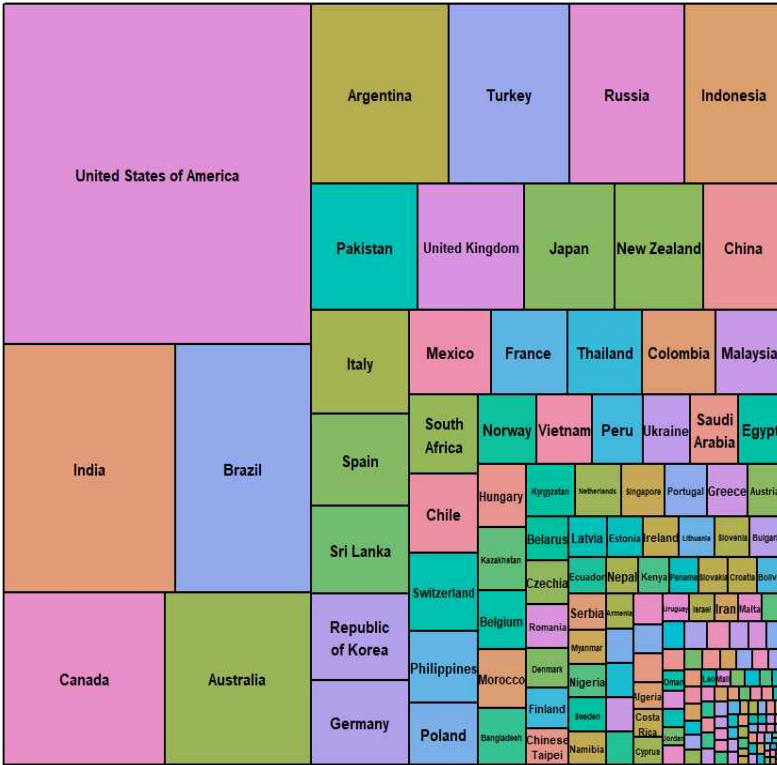
산업정책으로 분류된 13,373건의 정책 중 시행 관할국가(Implementing Jurisdiction)별로 정책의 수를 비교하면 [그림 6-42]와 같다. 중국이 2,894개로 가장 많고 이어 미국=2,336, 독일=1,039, 이탈리아=648, 캐나다=514, 브라질=505, 영국=504, 프랑스=487, 일본=414, 스페인=398 순이다. 대한민국이 관할국으로서 발표한 산업정책은 203개이다.

[그림 6-42] 산업정책(IP=1) 시행 관할 국가



비산업정책(총 14,589개)에 대한 시행 관할국가별 정책 건수는 [그림 6-43]과 같다. 미국이 2,569개로 가장 많고, 인도=1,045, 브라질=830, 캐나다=679, 호주=617, 아르헨티나=608, 터키=533, 러시아=505, 인도네시아=439, 파키스탄=334 순이며, 대한민국은 209개의 비산업정책을 발표하였다.

[그림 6-43] 비산업정책(IP=0) 시행 관할 국가



적용업체별 분류 결과는 <표 6 - 11>과 같다. 모든 업체(all)에 적용되는 경우가 50.2%로 가장 많고, 이어 특정 업체(firm-specific=44.5%), SMEs 순(3.2%)이다. 그러나 비산업정책과 비교하여 산업정책의 경우에는 특정 업체에 적용되는 경우가 상대적으로 많다.

〈표 6-11〉 적용 업체별 분류(Eligible Firms)

구분	all	firm-specific	location-specific	sector-specific	SMEs	state-controlled	state trading enterprise	합계
IP=1	4,097	8,693	90	67	392	34	0	13,373
IP=0	9,937	3,738	129	242	512	28	3	14,589
합계	14,034	12,431	219	309	904	62	3	27,962

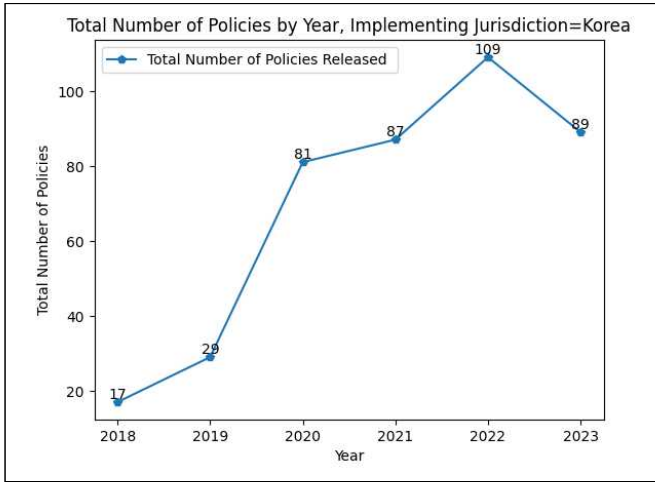
개입 유형(Intervention Type)별로 상위 10개 정책을 나타내면 〈표 6-12〉와 같다. 산업정책과 비산업정책에 대해 개입 유형의 종류가 서로 다르며, 공통적으로 적용되는 유형은 financial grant (재정지원), state loan (대출 지원), loan guarantee(부채상환 보증), tax or social insurance relief(재정의무 면제) 등이다.

〈표 6-12〉 개입 유형(Intervention Type) 상위 10개

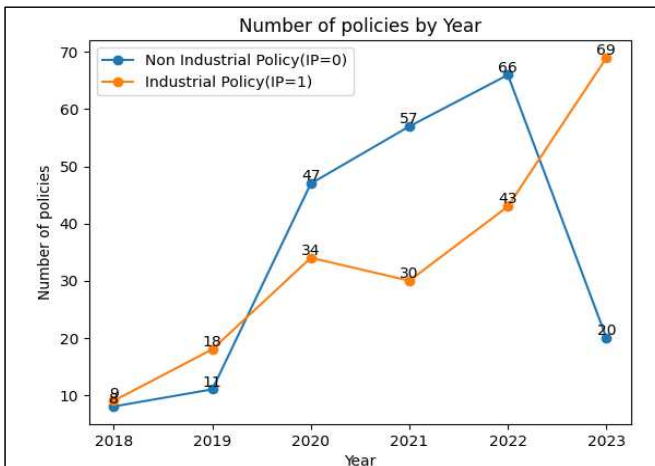
산업정책(IP = 1)		비산업정책(IP = 0)	
Financial grant(재정 지원)	4,253	Import tariff(수입 관세)	3,429
State loan(대출 지원)	2,141	State loan(대출 지원)	2,019
Trade finance(무역금융지원)	1,278	Financial grant(재정 지원)	1,242
Loan guarantee (부채상환보증)	695	Tax or social insurance relief (재정의무 면제)	648
Pubic procurement localisation (공공조달 현지화)	676	Anti-dumping(반 덤핑)	637
Local value added incentive (국내제품 인센티브)	638	Loan guarantee(부채상환보증)	573
Financial assistance in foreign market(해외시장 재정지원)	522	Export tax(수출세)	521
State aid, unspecified(불특정 국가 지원)	472	Import tariff quota(수입 관세 할당량)	477
Production subsidy(생산보조금)	425	Export ban(수출 금지)	457
Tax or social insurance relief (재정의무 면제)	421	Internal taxation of imports (수입에 대한 내국세)	342

시행관할권이 우리나라(Implementing Jurisdiction="Republic of Korea")인 경우 [그림 6-44]에서와 같이 5년 8개월 동안 총 412개의 정책을 발표하였으며, 이 중 산업정책은 49.3%(203개), 비산업정책은 50.7%(209개)이다.

[그림 6-44] 시행관할권이 대한민국인 경우 정책 건수



[그림 6-45] 시행관할권이 대한민국인 경우 (산업, 비산업) 정책 건수



우리나라와 미국, 중국의 산업정책 상위 10개 수단을 비교하면 <표 6-13>과 같다. 우리나라는 부채상환 보증, 무역금융 지원 등 간접적인 지원을 중심으로 산업정책을 수행하고 있는 반면, 미국과 중국은 재정 보조금 등 직접적으로 기업에 대한 보조금 지원을 산업정책의 중심에 두고 있다. 중국의 기업에 대한 정부 재정의 직접 지원은 잘 알려진 바와 같이 현재의 중국 산업 성장에 기틀이 된 것이며, 미국의 공공조달 현지화, 생산 보조금 정책 등은 이에 대응하여 미국 현지의 생산 능력을 강화시키기 위한 정책 흐름이라고 볼 수 있다. 우리나라도 이동통신 네트워크 분야의 국제 경쟁 상황을 고려하면 국내 산업 생태계를 복원하기 위해 정부 직접 지원과 국산 제품의 활용도 제고를 위한 정책 수단을 마련할 필요가 있다.

<표 6-13> 한국, 미국, 중국의 상위 10개 정책 수단 비교

한국		미국		중국	
개입 수단	비중	개입 수단	비중	개입 수단	비중
부채상환 보증	19%	공공조달 현지화	20%	재정 보조금	88%
무역금융 지원	18%	생산보조금	13%	재정의무 면제	1%
국가 지원(불특정)	16%	재정 보조금	13%	대출 지원	1%
해외시장 재정지원	8%	무역금융 지원	10%	외국인 직접 투자 진입 및 소유권 규정	1%
대출 지원	8%	재정의무 면제	10%	불명확한 수단	1%
구채금융 등 자본 및 지분 투입	7%	해외시장 재정지원	8%	국가 지원(불특정)	1%
재정 보조금	4%	대출 지원	7%	외국인 직접 투자: 대우 및 운영 관련	1%
수출 인센티브	4%	국가 지원(불특정)	4%	수출 면허 요구사항	1%
재정의무 면제	3%	부채상환 보증	3%	수입 관세	1%
현물 보조	3%	외국인 직접 투자: 진입 및 소유권 규정	2%	수입 면허 요구사항	1%

주: 상위 10개 이외의 기타 수단 비중은 한국 11%, 미국 11%, 중국 4%임

4. 분석 결과

최근 코로나 이후 미국과 중국을 중심으로 반도체를 포함한 최첨단 산업 분야에서 주도권을 잡기 위한 무역기술 패권 경쟁이 갈수록 심해지고 있다. 뿐만 아니라 G10 국가를 포함한 선진국들이 자국 기업과 국민의 이익을 위해 글로벌 무역정책을 발표·규제하고 타국의 발표한 정책에 대응하기 위한 전략적 정책을 발 빠르게 제시하고 있다.

우리나라에서도 글로벌 무역정책의 추이를 예측·분석하고 세계적인 무역정책에 신속하게 대응하면서 우리나라 기업과 국민의 이익을 최우선으로 하는 무역정책을 마련하고 적절히 시행하여야 할 때이다. 특히 매일 수시로 발표되는 정책을 분석하고 이에 대응하면서 전략적 정책 마련을 위한 정책 자동분류 알고리즘 개발이 필요하다.

본 연구에서는 국가별로 발표되는 글로벌 무역정책 데이터를 GTA(Global Trade Alert) 사이트⁶⁷⁾에서 수집(2018~2023년)하고 각국의 정책 설명문을 이용하여 산업정책과 비산업정책을 자동 분류함으로써 매년 발생하는 정책을 효율적으로 분석하는 방안을 제시하였다.

정책 자동 분류를 위해 대표적인 지도학습 머신러닝 기법인 로지스틱 회귀분석 모형을 이용(파이썬 사이킷런 라이브러리)하였으며, 학습에 필요한 2,000개의 데이터를 먼저 수집·분류하였다. 산업정책과 비산업정책의 분류는 전문가 5명의 다수결로 정하여 라벨링 작업을 수행하였으며, 이 중 70%(1,400개)를 훈련에 사용하고 나머지 30%(600개)의 데이터를 이용하여 모형을 평가하였다. 그리고 라벨링되지 않은 27,962개의 데이터에 대해 분류작업을 수행하고 평가하였다.

기존 연구에 의하면 산업정책(Industrial Policy, IP)이란, 각 나라의 정부가 국가 경제 발전 및 안정과 함께 경제구조의 변화를 도모하기 위해 다양한 산업 부문에 대한 방향과 지침을 제시하고 조정하는 정책을 의미한다. 반면 비산업정책은

67) <https://www.globaltradealert.org/latest/state-acts>

자국 경제구조의 변화를 형성하려는 목표보다는 자국의 의료 및 사회복지적 차원 등에서 적용하기 위한 정책을 나타낸다. 정책 분류를 위해 데이터 수집 및 라벨링, 데이터 처리(불용어 추가, 토큰화, TF-IDF 행렬 계산), 데이터 적재, 모형 구축 및 평가, 하이퍼 파라미터 튜닝 과정을 거쳐 최종적으로 미 라벨링된 데이터에 대한 분류·예측 작업을 수행하고 그 결과를 분석하였다.

평가 결과, 기본 Baseline 로지스틱 회귀분석 모형의 경우 훈련 데이터에 대한 정확도는 99.79%, 평가 데이터에 대한 정확도는 85.33%이며, N-gram 방식을 적용하는 경우 평가 데이터에 대한 정확도가 88.17%로 다소 개선되었다. 정책 설명문에는 (million, state, support, government)라는 단어가 자주 사용되고, 산업정책의 경우에는 (firm, foreign, financial, export, products, subsidy)가 주로 사용된 반면, 비산업정책에는 (tariff, import, related, duty, see, loan)의 단어가 많이 포함된 것으로 평가되었다.

라벨링되어 있지 않은 정책문에 대한 평가 결과, 2018년부터 2023년 8월까지 총 27,962개의 정책 중 산업정책이 47.8%, 비산업정책이 52.2%로 분류되었으며, 2020년을 제외(2020년에는 비산업정책이 많이 발표됨)하고 산업정책과 비산업정책의 비율이 서로 비슷하다. GTA 자체 평가에 의한 Red 정책(거의 확실하게 다른 나라의 상업적 이익을 차별함)이 79.7%로 가장 많았다. 국가별로 보면, 중국이 2,894개로 산업정책의 수가 가장 많고, 뒤를 이어 미국=2,336, 독일=1,039개, 이탈리아=648개 순이며 우리나라에서 발표한 정책은 203개이다. 반면, 국가별로 다른 나라의 정책에 의해 영향을 받는 국가별 순위는 미국이 292개로 가장 많고 뒤를 이어 중국=236, 영국=224, 독일=197개 순이며 우리나라는 90개의 정책에 의해 2023년 8월 기준으로 다른 나라의 산업정책의 규제를 받고 있는 것으로 확인되었다.

정책의 발표 주체를 볼 때, 국가 차원에서 발표된 정책 수가 69.5%로 가장 많고 NFI(National Financial Institution) 국가 금융 기관에서 17.9%의 정책을 제시하였다. 적용 업체별로는 모든 분야의 업체에 해당되는 정책이 50.2%로 가장

많고, 이어 특정 업체가 44.5%, SMEs(Small and Medium-sized Enterprise)가 3.2% 순이다. 정책에 포함된 개입의 유형으로는 산업정책에서 (financial grant, state loan, trade finance, loan guarantee, public procurement localisation) 순으로 정책이 많이 발표되었으며, 비산업정책에는 (import tariff, state loan, financial grant, tax or social insurance relief, anti-dumping) 순으로 평가되었다.

제 7 장 결론 및 시사점

1. 환경 규제와 지속가능성을 위한 시사점

이동통신 산업은 에너지 소비로 인한 OPEX(운영비용) 증가, 온실가스 배출과 관련된 규제 강화, ESG(Environmental, Social, and Governance), 크게 세 가지 측면에서 향후 환경적 측면에 관심을 가질 수 있다. 이 중 가장 규제와 관련이 있는 부분은 온실가스 배출이다. 이동통신사는 온실가스 배출 규제나 ESG 측면에서는 재생에너지 사용 등에 관심을 기울일 수 있으나, 장비 제조사 측과 관련이 있는 부분은 이동통신 네트워크의 에너지 효율이라 할 수 있다.

또한 운영비용 관리 측면에서 이동통신사는 에너지 효율뿐만 아니라 기지국 사이트의 임대료, 네트워크 운영 관리를 위한 인건비 등에도 관심을 기울인다. 여러 주파수 대역을 지원하는 안테나, 네트워크의 운영 자동화 솔루션 등은 에너지 효율을 높이면서 동시에 임대료, 인건비 부담도 낮출 수 있어 서로 관련이 되어 있다.

이동통신 네트워크의 에너지 효율을 올리기 위한 연구들은 크게 네트워크 자원 관리를 통한 에너지 효율성 향상, 기지국의 배치 및 하드웨어 구성 최적화를 통한 효율성 향상, 저전력 하드웨어 개발을 통한 효율성 향상, 에너지 하베스팅 및 전송으로 구분된다.

산업계에서는 AI를 활용하여 네트워크의 자원을 효율적으로 관리하는 여러 가지 솔루션을 제시하고 있는 것이 눈에 띈다. 저전력 하드웨어를 설계하거나 냉방 장치를 개선하는 방법들도 제시된다. 주요 장비제조사들은 각자 에너지 효율적인 네트워크 솔루션을 내세우고 있는 것으로 보이는데, 속도, 용량 등의 성능지표에 비해 에너지 효율 기술이 실제 장비 및 솔루션의 경쟁력에 얼마나 영향을 미치는지는 확인하기 어렵다.

환경규제가 장비제조사에게 영향을 미칠 수 있는 경로는 크게 두 가지로 예상해

볼 수 있다. 첫째, 환경규제로 인해 이동통신사가 에너지 소비를 줄이고자 에너지 효율이 강화된 장비를 제조사에 요구하는 경우이다. 이 경우는 에너지 효율화를 위한 여러 기술이 중요할 것이며, 해당 요구수준을 맞추지 못할 경우 제품을 공급하기 어려울 수도 있다. 하지만 아직까지 산업계에서 에너지 효율의 요구수준은 느슨한 수준이라 제품의 경쟁력에 별로 영향을 미치는 것 같지는 않다.

둘째, 제조사가 수출대상 국가의 환경 규제에 따라 장비 제조 과정에서 발생하는 탄소배출에 대한 비용을 지불하거나, 관련된 인증·증빙서류를 제출해야 하는 경우이다. 탄소배출량이 많지 않을 경우, 비용 자체는 크지 않을 것으로 예상되나 추가적인 절차에 따라 신규시장 진입이 더 복잡해질 수 있다. 또한 장비를 공급받는 상위 제조사나 이동통신사가 전 제품 제조과정/주기에 대한 관리책임을 부여받을 경우, 익숙한 업체들과 일하고자 하는 경향이 강해질 수 있다.

이에 대해 환경규제가 현재 이동통신 네트워크 장비제조사들에 미치는 영향은 미미한 것으로 보인다. 그러나 향후 6G 시대를 준비할 때에는 이러한 측면도 미리 검토해볼 필요가 있다.

2. Open RAN과 산업정책에 대비하기 위한 고려사항⁶⁸⁾

미국 Open RAN 산업정책은 자국의 산업경쟁력 강화 및 글로벌 리더십 확보가 최우선 목표이다. 미국의 목표는 중국의 영향력을 낮추면서 자국의 경쟁력을 높이는 것이며 그 수단으로서 중국 배제를 추진한다고 볼 수 있다. 미·중 갈등 국면에서 중국 배제도 중요하지만, 강력한 자국의 클라우드 산업경쟁력을 기반으로 통신 네트워크 산업경쟁력 및 글로벌 리더십을 다시 확보하겠다는 의도로 보인다. 세계 2위의 이동통신 네트워크 장비의 수요 시장인 미국의 내수만으로도 미국 중소기업의 초기 경쟁력 강화의 기반이 될 수 있다. 또한 Open RAN은 이동통신망의 무게 중심을 RAN에서 미국의 경쟁력이 높은 클라우드, 엣지, 코어망으로 이전시

68) 본 절은 본 과제의 중간결과물인 KISDI Premium Report “오픈랜(Open RAN)과 이동통신 산업정책의 귀환”(여재현, 2023)을 토대로 일부 수정하여 작성하였음.

키는 것이다. 미국은 RAN의 경쟁력은 낮으나, 서버 등 코어망 설비 및 광인터넷 분야의 경쟁력은 높으며, 클라우드 산업경쟁력은 세계 최고⁶⁹⁾ 수준이다. 따라서 Open RAN의 산업정책, 특히 중국 배제는 미국 중심의 중소 이동통신 장비 업체의 글로벌 시장이 확보되고, 클라우드 산업의 글로벌 영향력이 확대되는 수준에서 멈출 가능성이 크다(여재현, 2023).

미국의 Open RAN 정책은 중소 제조업체와 신규 이동통신 사업자에게 새로운 기회를 제공할 수 있다. 만일 미국이 산업정책 수단으로 Open RAN을 활용하지 않았다면 Open RAN은 산업체 자율의 글로벌 표준이 마련되었을 것이며, 기존 생태계 체제의 변화는 크지 않았을 가능성이 크다. 독과점적 경쟁력을 갖춘 선도 장비제조업체가 시장을 선점⁷⁰⁾하거나 Open RAN 표준화를 주도할 가능성이 커, 이동통신 네트워크 장비 산업의 시장 구도가 크게 변하지 않았을 것이다. 즉, Open RAN을 통해 일부 새로운 장비 제조 기업이 시장에 등장하더라도 현재의 Ericsson, Nokia와 Huawei, ZTE 중심의 유럽·중국이 양분하는 체제에는 큰 변화가 없었을 것이다. 따라서 미국의 Open RAN 정책은 유럽·중국 중심의 기존 체제를 다변화하도록 정책적으로 지원하기 때문에 미국과 동맹국의 중소 제조업체에는 기회로 작동할 수 있다. 미국의 RAN 시장 점유율이 낮음에도 Open RAN으로 인해 미국 RAN 제조업체의 매출은 2020년 대비 2022년에 60% 증가⁷¹⁾한 바 있다(여재현, 2023).

고비용 RAN 구축이 이동통신 서비스 시장 진입에 장벽이었다면, Open RAN에 의한 RAN 가격 인하와 클라우드 사업자에 대한 의존도 강화는 신규사업자의 진입을 더 쉽게 하는 효과를 나타낼 수 있다. 신규 사업자, 특히 클라우드의 경쟁력이 있거나 클라우드 사업자와 협력을 강화할 수 있는 신규 사업자에게 Open

69) Amazon, MS, Google 등 미국의 빅테크 기업들이 클라우드, AI 및 데이터 등에 대한 글로벌 경쟁력을 확보하고 있는 상황.

70) 기존 선도체조업체는 proprietary vRAN 등을 통해 RAN을 경량화하여 Open RAN의 시장을 선점할 수 있음.

71) Pongratz(2023).

RAN은 낮은 투자 및 운영비용으로 망을 구축할 기회이다. 또한 신규 사업자는 소규모의 RAN만 구축하고 망의 대부분을 클라우드 사업자에게 의존하면서 사업을 영위할 수도 있다. Open RAN은 기존 이동통신사업자가 주도하는 형태이나, 기존 이동통신사업자는 망의 전면적인 전환이 매우 어려운 상황이므로 기존 이동통신사업자에게 Open RAN은 독과점 장비제조업체 장비에 대한 가격 협상력을 갖게 해주는 역할에 그칠 가능성이 클 수 있다. 즉 기존 제조업체의 장비 가격이 충분히 낮아진다면 기존 사업자는 중소기업의 Open RAN보다 기존 제조업체의 proprietary vRAN을 채택할 가능성이 높다(여재현, 2023).

미국 Open RAN 산업정책이 성공하는 경우, 이동통신 산업생태계의 전환이 더욱 촉진될 것이다. 미국의 Open RAN 전략이 성공한다면 이동통신사업자 중심에서 AI 기반의 클라우드 플랫폼 사업자 중심으로 이동통신 산업생태계의 전환이 더욱 촉진될 것이다. 5G는 망 분리를 통한 다양한 서비스 제공이 핵심 요소임에 따라 클라우드(엣지 포함) 사업의 중요도가 향상되고 있으며, 기존의 이동통신사업자도 자체적으로 클라우드 비즈니스를 강화하거나 기존의 클라우드 사업자와 협력을 강화 중이다. 5G의 B2B 또는 B2C 시장에서 특화 서비스를 가상화로 분리된 전용망을 이용하여 제공해야 하는데, 핵심은 해당 산업 또는 서비스에서 발생하는 데이터와 그를 활용한 새로운 가치 창출이다. 이에 이동통신 사업자도 RAN에 대한 투자보다는 클라우드/AI 등에 대한 투자와 협력을 강화하면서 클라우드 강자들과의 경쟁을 대비하고 있으며, 기존의 클라우드 강자들은 자신의 강점을 기반으로 Open RAN을 통해 이동통신 서비스의 last-one mile이 경량화되는 시점까지 기존 및 신규 이동통신사업자와 협력을 통해 경쟁을 대비하고 있다(여재현, 2023).

그럼에도 미국 Open RAN 산업정책의 성공에는 넘기 어려운 걸림돌이 많이 숨어 있다. 가장 먼저 떠오르는 우려 사항은 미국은 산업정책을 통해 자국 및 동맹국 기업의 통일된 움직임을 유도할 수 있는가이다. Open RAN은 기업체, 특히 이동통신 서비스 사업자와 클라우드 사업자의 사업적 필요성에 의해 자생적으로 발생한 개념으로 산업체의 의사결정에 따라 확산 여부가 결정된다. 중국은 주요

기업들을 소유하거나 사실상 지배권을 발휘하고 있어 산업체에 직접적인 영향력을 정부가 미칠 수 있으나, 미국은 산업정책에도 불구하고 기업들을 소유하거나 사실상 지배권을 발휘할 수 없다. 그렇다면 미국이나 동맹국의 기업을 중국처럼 일사불란하게 움직일 수 있을 것인가에 대한 의문이 생길 수밖에 없다. 비용의 최적화나 다른 국제정책 측면에서 미국의 기조에서 이탈하는 동맹국을 경제적 또는 비경제적으로 제재할 수는 있으나, 제재에도 불구하고 기업에 실질적인 이익이 없다면 해당 전략이 지속되기 어려울 것이다. 특히 유럽은 미국의 Open RAN 산업 정책이 유럽 네트워크 제조업체(Ericsson, Nokia 등)의 경쟁 우위를 직접적으로 약화하려는 목표를 갖고 있기 때문에 미국을 지지하는 데 한계가 있다(여재현, 2023).

둘째, 중국과 달리 미국이 그동안 잘 하지 않던 산업정책으로 충분한 자금을 적시 적소에 지원할 수 있을 것인지에 대한 우려도 있다. 산업정책의 일반적인 단점인 초과 공급, 불필요한 투자 발생, 정치적인 이유로 인한 투자 손실 등의 문제점은 상존하며, 산업정책의 자금은 적시 적소에 투입되어야 하나, 중국과 달리 미국의 시스템에는 민주적 절차와 정치적인 이유로 시기를 놓치거나 불필요한 곳에 투입될 우려가 있다. 예를 들면 반도체와 과학법이 양당의 정치적 합의로 인한 결과물이기 때문에 산업정책에 집중하지 않고 진보적인 사회 정책(예: 소수자 소유 기업 기회 보장, 주식 환매 제한 등)이 포함되어 있다는 비판(Atkinson, 2023)도 존재한다(여재현, 2023).

셋째, 미국의 산업정책은 이동통신 투자 및 운영비용 등을 낮추려고 하는 미국 및 동맹국의 이동통신사업자 이익에 부합하는지 여부이다. 이동통신 네트워크 장비 산업은 약 30년간의 경쟁과 인수 합병 등을 통해 현재의 가격 구조와 시장 생태계를 만든 상황이다. Open RAN이 투자 및 운영비용을 절감시킬 수 있다고 하나, 망의 대개체 및 연동 비용, 장애 시 복수 시스템으로 인한 해결의 어려움 등 이동통신사업자의 총비용 측면에서 채택하기 어려울 수 있다(여재현, 2023).

넷째, 미국의 클라우드/AI 등 빅테크 기업의 경쟁력이 이동통신 산업으로 전이 되는 것을 동맹국이 받아들일 수 있는 것인지 여부이다. 특히 유럽의 경우 기존의

네트워크 경쟁력이 Open RAN 산업정책으로 약화 될 수 있는 상황에서 클라우드 사업은 이미 미국의 빅테크 기업에 의해 과점화되어 있다. 유럽은 EU 클라우드 얼라이언스를 통해 클라우드의 경쟁력 강화를 추진⁷²⁾하고 있으나 성공이 어려운 상황이다. 우리나라도 클라우드 경쟁력 강화를 추진하는 상황에서 미국의 클라우드 경쟁력이 더욱 확대되는 것은 국내 산업에 불리하게 작용할 우려가 있다(여재현, 2023).

다섯째, 미국의 산업정책을 통해 중국 산업과 시장을 배제하면서 de-facto 표준을 만들 수 있는지 여부이다. O-RAN alliance에서 인증받은 표준이 de-facto가 된다면 미국 및 동맹국의 사업자가 이를 이용하는 것을 막기 어려울 수 있다. O-RAN alliance는 중국 업체들이 다수 참여하고 있고, 많은 제품이 출시되고 있으나, 동맹국 중 해당 제품을 채택하는 모두를 세세하게 배제하기는 어려울 것이다(여재현, 2023).

결론적으로 우리나라는 미국과의 Open RAN 협력을 강화함과 동시에, 국내 산업 경쟁력 강화 정책을 추진해야 한다. 미국과는 안보 협력을 기반으로 하는 동맹국이며, 우리나라가 네트워크 제조 산업의 후발주자라는 점에서 미국과의 Open RAN 공조의 강화는 우리에게도 유리할 수 있다. 다만, 미국 산업정책의 목표가 자국 경쟁력 강화라는 점을 고려하면 중국 배제의 기간은 한시적일 수 있으므로 그 기간 동안 국내 경쟁력을 조속히 강화할 필요가 있다. 미국 중심의 Open RAN 협력과 더불어 국내 Open RAN 산업의 경쟁력 강화를 위한 정책을 시행할 필요가 있다. 미국의 Open RAN 산업정책은 중국과 유럽의 대규모 제조업체의 영향력을 차단하여 우리나라 중소기업의 기회일 수 있으나, 클라우드와 소프트웨어 경쟁력을 갖춘 미국 사업자의 경쟁력이 강화되는 경우 국내 산업의 입지는 줄어들 수 있다. 따라서 국내 제조업체, 특히 중소 제조업체의 하드웨어 및 소프트

72) EU 클라우드 얼라이언스(Alliance for Industrial Data, Edge and Cloud): EU는 2020년 'GAIA-X'라는 민간 주도 클라우드 계획을 추진했지만 클라우드 기술 개발과 확산이 저조해 성공하지 못한 것으로 평가됨. 이에 2021년 10월 27개 EU 회원국이 공동으로 차세대 클라우드를 구축하자는 공동 선언을 발표.

웨어 경쟁력 강화를 위해 지원 정책을 검토해야 하며, 이를 위해서는 RAN, CN, 클라우드 분야 HW 및 SW의 중소기업 경쟁력을 평가한 후, 이를 기반으로 적시 적소에 지원 자금이 투입될 수 있도록 재원 배분 방안을 마련해야 하며, 클라우드 및 소프트웨어 산업 경쟁력 강화를 위한 정책은 지속적으로 추진하되, 이동통신 산업과의 연계를 강화할 수 있도록 양 산업간 협력 체계를 마련할 필요가 있다(여재현, 2023). 또한 신규 이동통신사업자 및 이음 5G에서 중소기업의 Open RAN 활용이 활성화될 수 있도록 연계 방안을 검토할 필요가 있다. 특히 소규모 신규사업자의 경우 주문량이 부족하여 대규모 제조업체가 물량을 공급하지 못할 가능성이 크므로 국내 중소 제조업체의 Open RAN 활용을 촉진해야 한다(여재현, 2023).

3. 산업정책 사례분석의 시사점

2018~2019년 미국과 중국의 대규모 무역전쟁을 시작으로 바이든 정부의 IRA(Inflation Reduction Acts)까지 고부가가치 미래 산업을 자국 중심으로 재편하기 위한 산업정책이 지속되고 있다. 중국도 이에 대응한 관세정책을 시행하였으며, ICT 산업이나 전기 배터리 산업 등 미래 먹거리 산업을 선도하기 위한 정책을 지속해서 시행하고 있으며, 일본, EU 등도 자국 산업의 보호 및 부흥을 위해 산업정책을 지속하고 있는 상황이다. 2010년대 후반, 미국과 중국을 중심으로 한 산업정책은 정책 수단이나 표면적인 목적이 달랐으나, 큰 틀에서 보면 양국이 자국 중심의 글로벌 공급망을 재편하기 위한 정책으로 보인다. 소규모 개방경제인 한국의 경우, 내수 시장이 작아서 단기에 글로벌 공급망을 주도하는 역할을 하기는 어려울 것으로 보인다. 그러나 산업정책에 대한 선행연구를 통해서, 미국과 중국 중심의 주도권 싸움에서 몇 가지 유의한 시사점을 얻을 수 있다. 미국과 중국의 무역분쟁에 관한 연구는 주로 미국 데이터를 바탕으로 한 미국 중심의 연구이며, 무역분쟁이 장기적으로 산업에 미친 효과를 아직 확인할 수 없다. 그러나 최근 미·중 무역분쟁에 관한 연구와 과거 산업정책의 장기적 효과에 관한 연구를 바

탕으로 유의한 시사점을 도출할 수 있다.

가. 연구개발(R&D) 및 보조금 등 산업 육성정책의 지속 필요

Lane(2020)은 2010년대 이전 1세대 실증분석 연구들은 내생성의 문제에 노출되어 있음에도 불구하고, 이들의 분석 결과를 무비판적으로 받아들여 정부개입에 대한 이해를 어렵게 만들었다고 주장한다. 2010년 이전의 선행연구들은 따르면 산업의 육성을 위한 연구개발비 지원, 보조금 및 세제 혜택에 대한 효과가 불분명한 것으로 나타났다. 그러나 Lane(2020)은 해당 연구들이 연구 모형 설정 과정에서 내생성의 문제를 피할 수 없으며, 따라서 실증분석 결과를 신뢰하기 어렵다고 볼 수 있음에도 산업에 정부가 개입하지 않는 것을 지지하는 증거로 활용되었다고 주장한다.

이는 우리나라의 중화학 공업을 대상으로 한 최근의 산업정책 연구 결과에서 산업정책의 긍정적 효과를 볼 수 있다. 많은 연구자가 중화학 공업을 육성하기 위한 한국의 산업정책이 나름의 성과를 거두었음을 실증분석 하였다(Kim et al., 2021; Lane, 2022; Choi and Levechenko, 2023), Kim et al.(2021)은 정부 주도로 시행되었던 중화학 공업의 육성정책에 대하여 미시 자료(micro data)를 바탕으로 실증 분석하였고, 중화학 공업에 대한 조세 및 보조금 지원 정책이 중화학 공업이 성장하는 데 유의한 역할을 하였음을 주장하였다. 아울러 중화학 공업의 경우 생산의 긍정적 외부효과가 존재하여, 중화학 공업과 관련된 상당히 넓은 범위의 산업생산을 촉진하는 역할을 하는 것으로 나타났다. 또한 산업정책의 지속성이 있어, 산업정책이 종료된 1979년 이후에도 중화학 공업의 산업정책 효과가 지속되어 한국의 경제성장에 유의한 영향을 미쳤다고 주장하였다. 또한 Bloom et al.(2019)에 따르면, 산업정책으로 R&D 세액 공제는 단기에 정책의 효과가 가장 강하게 나타나는 산업정책의 수단이다. 따라서 양의 외부성을 갖는 산업에 대한 지속적인 연구개발비 지원과 조세정책 등이 필요하다고 할 수 있다. 따라서 미국과 중국의 격화되고 있는 산업정책 속에서 단기적으로 한국 산업에 도움이 될 수 있는 산업정책을 먼저 수립 및 시행해야 할 필요성이 있다.

나. 우수한 인적자원 확보를 위한 정책 필요

중·장기적으로 육성하고자 하는 산업에 대한 우수한 인적자원 확보를 위한 정책이 필요할 것으로 판단된다. Bloom et al.(2019)은 중장기적으로 R&D에 대한 직접 보조금이나 이민을 통한 숙련된 노동력의 이민 등이 산업의 혁신으로 이어질 수 있음을 주장하였다. 우리나라의 경우, 중장기적 관점에서 육성 산업의 우수 인력을 확보하는 정책이 매우 시급할 것으로 보인다. 우수 학생들이 의약 계열을 선호하고 이공계를 기피하는 현상이 더욱 심화하고 있기 때문에, 중장기적 관점에서 우수 인재를 확보할 수 있는 정책이 필요할 것으로 보인다. Manelici and Pantea(2021)의 연구에서 확인할 수 있듯이, 육성 산업에 대한 파격적인 소득세 정책이 관련 산업과 기업의 생산성 향상으로 이어질 수 있다. 따라서 개인적 관점에서 강한 인센티브를 제공하는 정책을 통해 우수 인재를 확보할 수 있는 정책도 하나의 방안이 될 수 있다.

다. 자원 배분이 비효율적이 되지 않는 시행 방안 마련 필요

다른 한편으로 정보의 비대칭 문제, 일부 산업 및 기업에 혜택이 집중되는 문제로 산업정책의 효과가 반감되지 않도록 정부의 역할이 필요하다. Kim et al.(2021)은 한국 정부 주도의 중화학 공업 육성 정책은 자원이 투입된 지역과 기업에 상당한 생산성 향상을 가져왔으나, 소수 기업과 지역에 자원이 집중되어 자원 배분의 비효율성이 나타났다고 주장하였다. 또한 지원된 자금이 정부에 의해 모니터링되지 않는 경우, 도덕적 해이의 문제로 자원이 비효율적으로 사용될 가능성이 커진다. 따라서, 산업정책 시행의 주체인 정부는 자원 배분의 비효율성이 발생하지 않도록 지원 정책을 사전에 검증해야 할 필요가 있다. 아울러, 기업 및 산업에 분배된 자원이 적절하게 활용되고 있는지를 평가하여 자원의 낭비가 발생하지 않도록 해야 할 것이다.

라. 외국의 산업정책에 대응 능력 향상 필요

2010년대 후반 이후의 산업정책은 미국과 중국의 글로벌 공급망 재편을 목적으로 한 정책 중심으로 흘러가고 있다, 우리나라는 소규모 개방경제로, 단기적으로

글로벌 공급망을 주도할 수 있는 경제 규모가 아니기 때문에, 이에 대한 대응력을 기르는 것이 필수적이다. Fajgelbaum et al.(2023), Freund et al.(2023)은 미국과 중국 중심의 산업정책이 다른 나라에게 오히려 기회로 작용할 수 있음을 분석하였다. 즉 무역분쟁이 격화됨에 따라 미국과 중국의 수입 제품 가격이 상승하였고, 각 국가의 대체재에 비교우위가 있고, 가격 변화에 신속하게 대응하여 생산을 늘릴 수 있던 국가들이 반사이익을 보았다고 주장하였다. 이는 단순히 미국과 중국에 수출을 증가시키는 것으로 그치지 않고, 규모의 경제를 바탕으로 전 세계에 해당 제품의 수출이 증가하는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 Chen et al.(2023)의 사례에서 볼 수 있듯이 특정 국가를 대상으로 한 정책이 소기의 목적을 달성하는 경우 한국의 대응 여하에 따라 충분한 이익을 볼 수 있다. 따라서 단기적으로 각 국가의 산업정책에 대응하여 국내 기업 및 산업이 지속해서 성장할 수 있는 대응 능력을 갖추어 줄 수 있는 정책이 필요하다. Flaaen et al.(2020)에 따르면 2010년대 한국은 미국의 세탁기 산업을 보호하기 위한 산업정책에 생산기지를 유연하게 활용하여 이에 대응하였고, 미국 내에서 점유율을 유지할 수 있었다. 따라서 단기적으로 미국과 중국의 정책에 유연하게 대응할 수 있도록 정부가 산업에 대한 규제 등을 유연하게 적용하고, 기업의 해외 투자를 장려하여 기업의 생산이 탄력적일 수 있도록 해야 할 필요가 있다.

장기적으로는 산업의 다양성을 갖추어 한국의 경제성장이 소수의 산업에 의해 견인될 때 발생할 수 있는 위험에 대응할 필요가 있다. Feenstra et al.(1999), Feenstra and Kee(2004), Broda and Weinstein(2004) 등에 따르면 교역재의 다양성이 경제성장을 견인한다는 실증분석 결과를 제시하였고, Arora and Vamvakidis(2004)는 선진국과의 교역이 교역 상대국의 성장을 견인한다는 실증분석 결과도 제시하고 있다. 따라서 장기적인 관점에서 산업의 다양성을 유지함과 동시에 산업 내 무역(intra-industry trade)을 통해 선진국과의 교역이 지속할 수 있도록 고부가 가치 산업에 대한 투자가 지속될 필요가 있다.

4. 산업정책 글로벌 추이 분석의 시사점

선진국을 포함하여 많은 나라들은 자국의 기업과 국민의 이익을 도모하기 위해 공격적 또는 방어적인 무역정책을 매일 발표·시행하고 있다. 특히 당초 예상대로 미국과 중국은 글로벌 경쟁 시장 속에서 기술패권을 선점하기 위한 전략으로서 무역정책을 적극적으로 활용하고 있는 것으로 조사되었다. 구체적으로 보면, 2018년부터 최근까지 중국은 2,894개, 미국은 2,336개의 산업정책을 발효하였고, 우리나라의 경우는 5년 8개월 동안 203개의 산업정책을 발표하였다. 향후에도 수시로 발효되는 국가별 산업정책을 예측·분석하고 이를 통해 우리나라 산업의 안정과 발전을 도모할 수 있는 정책을 적극적으로 마련하고 시행하여야 할 것이다. 특히 미국, 중국과 대비하여 우리나라의 산업정책은 직접적인 재정투자 부문이 부족하다고 볼 수 있다.

본문에서 서술한 바와 같이 우리나라는 부채상환 보증, 무역금융 지원 등 간접적인 지원을 중심으로 산업정책을 수행하고 있는 반면, 미국과 중국은 재정 보조금 등 직접적으로 기업에 대한 보조금 지원을 산업정책의 중심에 두고 있다. 중국의 기업에 대한 정부 재정의 직접 지원은 잘 알려진 바와 같이 현재의 중국 산업 성장에 기틀이 된 것이며, 미국의 공공조달 현지화, 생산 보조금 정책 등은 이에 대응하여 미국 현지의 생산 능력을 강화시키기 위한 정책 흐름이라고 볼 수 있다. 우리나라도 이동통신 네트워크 분야의 국제 경쟁 상황을 고려하면 국내 산업 생태계를 복원하기 위해 정부 직접 지원과 국산 제품의 활용도 제고를 위한 정책 수단을 마련할 필요가 있다. 이를 위해서는 이동통신사업자가 국내 네트워크 장비 산업 활성화를 고려하여 네트워크 투자를 활성화할 수 있도록 망 투자 의무 및 그에 따른 인센티브 등에 대한 주파수 할당 정책 등 정부 정책 방안의 세부적인 검토가 필요하다.

모델과 관련해서 본 연구에서는 정책을 자동 분류하기 위해 로지스틱 회귀분석 모형을 사용하였으며, 기본 파라미터 값을 적용한 Baseline 모델의 경우 훈련 데이터에 과대적합하는 현상이 발생하였다. 이를 해결하기 위해 특성의 수를 줄여

확률적 경사하강법을 적용한 결과, 적절한 특성의 수(약 100~1,000개)에 대해 과대적합 문제가 해결되긴 하였으나, (훈련, 평가) 데이터에 대한 성능은 80~85%로 나타났다. 그리고 N-gram 방법을 적용하여 하나의 단어를 더 추가·분석한 결과, 정확도가 88.2%로 다소 개선됨을 알 수 있다. 향후 분류를 위한 다양한 머신러닝 기법인 앙상블 분석, 서포트벡터머신, 순환신경망(RNN, Recurrent Neural Network) 등을 활용하여 평가 데이터에 대한 성능을 개선하고, 더 많은 학습 데이터를 이용하여 분류 분석을 수행하여야 할 것으로 보인다. 특히 정책 설명문 텍스트 데이터에 대해 산업정책 정의 시 단어의 순서가 중요한 순차 데이터로 평가되며, 이를 위해 딥러닝 알고리즘 중에서 순차적 데이터를 분석하기 위해 사용되는 대표적인 기법인 순환신경망(RNN)을 통해 보다 의미 있는 파라미터를 추출하여 정확도가 높은 분류 모형의 개발이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[국내문헌]

- 2050 탄소중립위원회(2021), “2050 탄소중립 시나리오”, 탄소중립위원회, 2021. 10.
- 고남석·박노익·김선미(2021), “6G 모바일 코어 네트워크 기술 동향 및 연구 방향”, 전자통신동향분석, 제36권 제4호, 한국전자통신연구원, 2021. 8.
- 과기정통부(2023), “디지털 심화 시대를 이끌어갈 K-Network 2030 전략”, 과학기술정보통신부.
- 과기정통부 보도자료(2021. 6. 10.), “5세대(5G) 융합서비스 가늠터(테스트베드) 4대 거점(판교, 대전, 광주, 대구) 체계 구축”, 과학기술정보통신부.
- _____ (2021. 6. 23.), “6세대(6G) 전략회의 개최”, 과학기술정보통신부.
- _____ (2022. 1. 26.), “가상융합경제 주도를 위한 차세대 연결망(네트워크) 발전 전략 수립 착수”, 과학기술정보통신부.
- _____ (2022. 8. 24.), “세계 차세대 네트워크(6G) 기술 선도를 위한 지원방향 논의: 차세대 네트워크(6G) 산업 기술개발사업 공청회 개최”, 과학기술정보통신부.
- _____ (2023. 5. 30.), “디지털 기반(인프라) 강국, 6세대(6G) 시대에도 이어가자”, 과학기술정보통신부.
- _____ (2023. 8. 16.), “민·관, 대·중소기업이 ‘원 팀’으로 오픈랜 세계 시장을 열어갑니다”, 과학기술정보통신부.
- 과학기술관계장관회의(2021), “탄소중립 기술혁신 추진전략(안)”, 과학기술관계장관회의, 2021. 3. 31.

- 관계부처 합동(2021), “2050 탄소중립 시나리오안”, 탄소중립녹색성장위원회.
- 김대수·김경동(2023), 『처음 만나는 인공지능』, 생능출판.
- 김선욱 홍석진(2022), “미국 탄소국경조정제도 주요내용 - 공정전환경쟁법 중심”, 국제환경규제기업지원센터 분석보고서, 370-22-001, 국제환경규제기업지원센터, 2022. 2. 25.
- 김수현·김창훈(2020), “유럽 그린딜의 동향과 시사점”, 에너지경제연구원. 2020. 6.
- 김앤장(2022), “미국의 2022년 반도체법, 인플레이션 감축법과 국내 기업에 대한 영향”, 뉴스레터, 김앤장, 2022. 9. 15.
- 김원규(2020), “산업혁신정책의 효과분석과 정책시사점”, 이슈페이퍼 2020-16, 산업연구원, pp. 1~87, 2020. 9.
- 김윤희(2023), “기후위기 관련 2023년 글로벌 통상이슈 점검”, NABO 경제동향 제 36호, 국회예산정책처.
- 김종기·경희권·심우중(2022), “통신장비산업의 가치사슬별 경쟁력 진단과 정책 방향”, 월간 KIET 산업경제 Vol.285, 산업연구원.
- 김태연·고남석·양선희·김선미(2020), “네트워크와 AI 기술 동향”, 전자통신동향 분석, 제35권 제5호, 한국전자통신연구원, 2020. 10.
- 대통령실(2022), “[전문] 한·미 정상 공동성명”, 대통령실, 대한민국 정책브리핑, 2022. 5. 21.
- 대한민국 정부(2022), “자유, 평화, 번영의 인도-태평양 전략”, 대한민국정부, 2022. 12.
- 박해선(2020), 『혼자 공부하는 머신러닝+딥러닝』, 한빛미디어.
- 산업통상자원부(2023), “미 조달시장 및 바이 아메리카 규정 토론회 개최”, 산업통상자원부 보도자료, 2023. 3. 7.
- 삼성전자(2023), “삼성전자, 일본 KDDI와 5G 네트워크 슬라이싱 기술 협력 MOU 체결”, Samsung Newsroom. 2023. 9. 27.
- 서형준(2023), “텍스트 마이닝을 활용한 지방정부의 지역 스마트시티계획 분석”, 한국정책과학학회보, 27(2), pp. 129~158, 2023. 6.

- 세계법제정보센터(2022), “미국 「인플레이션 감축법 2022」 주요 내용”, 법제동향, 세계법제정보센터, 2022. 9. 28.
- 양의석·최영선(2021), “미국 바이든 행정부 출범: 기후변화·에너지정책 변화 영향과 우리나라 대응”, 에너지현안브리프, 에너지경제연구원, 2021. 3.
- 여재현(2023), “오픈랜(Open RAN)과 이동통신 산업정책의 귀환”, Premium Report 23-3, 정보통신정책연구원, 2023. 7.
- 여재현·김지환·조수정·장희선·박의환(2022), “이동통신 미래 시장환경변화 예측 및 산업 활성화 요소 연구”, 기본연구 22-12, 정보통신정책연구원, 2022. 12.
- 우지에·허찬국(2018), “한국 제조업 사업체 패널 자료를 이용한 관세인하의 총요소 생산성 효과 분석”, 한국경제연구, 제36권 제3호, pp. 5~39, 2018. 9.
- 유원준·안상준(2023), “딥러닝을 이용한 자연어 처리 입문”, 위키독스, <https://wikidocs.net/book/2155>.
- 이기은·최영준(2023), “텍스트 마이닝을 통한 ESG 연구동향 분석”, 기업경영연구, 30(2), <https://www.earticle.net/Article/A430537>, pp. 133~166.
- 이승익·이종화·안병준(2022), “5G multi-access edge computing 표준기술 동향”, 전자통신동향분석. 제37권 제4호, 한국전자통신연구원, 2022. 8.
- 이천기·박지현·박혜리(2021), “EU 탄소국경조정 메커니즘에 대한 통상법적 분석 및 우리 산업에의 시사점”, 오늘의 세계경제, Vol.21 No.15, 대외경제정책연구원, 2021. 7. 21.
- 장영욱·오태현(2021), “EU 탄소감축 입법안(‘Fit for 55’)의 주요 내용과 시사점”, 세계경제 포커스, Vol.4 No.44, 대외경제정책연구원, 2021. 7. 22.
- 장희선(2022), 『masteR: R을 이용한 빅데이터 분석』, SD에듀.
- 정혜정·장희선(2023), 『빅데이터분석기사 필기: 한권으로 끝내기』, SD에듀.
- 퀄컴코리아(2017), “5G NR 밀리미터파 지원 스마트폰 2019년 등장.” 공식 블로그 <https://blog.naver.com/qualcommkr/221149584392>.

- 퀄컴코리아(2020), “2020년, 한국에서 5G 밀리미터파 스마트폰이 기다려지는 이유 (1).” 공식 블로그
<https://blog.naver.com/qualcommkr/221857956038>.
- 한국경제(2022), “수랭식 기지국 개발한 노키아…“에어컨 대신 물로 열기 식힌다””, 한국경제, 2022. 7. 10.
<https://www.hankyung.com/article/202207107808i>.
- 한국무역협회(2023), “2023년 주목해야 할 EU 주요 환경규제와 대응전략”. Trade Brief, No. 06, 한국무역협회 국제무역통상연구원, 2023. 3. 6.
- 한국산업기술진흥원(2022), “미국 인플레이션 감축법 발효(美 White House, 8.19)”, 이슈포커스, 2022년 17호, 한국산업기술진흥원, 2022. 9. 15.
- 한국수출입은행(2021), 5G 이동통신기술 핵심산업 분석, K 뉴딜산업 Insight 보고서-7, 한국수출입은행 해외경제연구소.
- 한국전자통신연구원(2020), “6G Insight: 비전과 기술”, 2020. 11. 30.
- 환경부(2020), “온실가스 배출권거래제 제3차 계획기간(2021~2025년) 국가 배출권 할당계획(안)”. 환경부, 2020. 9.
- Shin & Kim(2020), “온실가스배출권거래법 시행령 전부 개정(2020. 8. 18.)”, Legal Update, 법무법인(유)세종, 2020. 8. 25.
- SK텔레콤(2022), “SKT, Green AI로 넷제로에 성큼 다가간다”, SK텔레콤 보도자료, 2022. 9. 28.
- SK텔레콤(2023), “SK텔레콤 6G 백서”, SK텔레콤, 2023. 8.

[외국문헌]

- 3GPP(2016). “Architecture enhancements for control and user plane separation of EPC nodes; stage-2 technical specification (TS) 23.214.” 3GPP TS 23.214 version 17.0.0 Release 17.
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/Specificatio>

- nDetails.aspx?specificationId=3077.
- 3GPP(2023a). “5G NR; NR and NG-RAN Overall description; stage-2 technical specification (TS) 38.300.” 3GPP TS 38.300 version 17.5.0 Release 17.
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3191>.
- _____(2023b). “System architecture for the 5G System (5GS); stage-2 technical specification (TS) 23.501.” 3GPP TS 23.501 version 17.10.0 Release 17,
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3144>.
- Aghion, P., Boulanger, J., & Cohen, E.(2011). “Rethinking industrial policy”, Bruegel Policy Brief, 2011. 6. 16.
- Agresti, A.(2007), “An introduction to categorical data analysis(second edition)”, WILEY.
- Akyildiz I. F., Han, C., Hu, Z., Nie, S. and Jornet, J. M.(2022). “Terahertz band communication: An old problem revisited and research directions for the next decade.” IEEE Transactions on Communications, 70(6), pp. 4250-4285.
- Al-Falahy N. and Alani, O. Y.(2017). “Technologies for 5G networks: challenges and opportunities.” IT Professional, 19(1), pp. 12-20.
- Arcep(2023), “Consultation Publique: Référentiel général de l'écoconception des services numériques.”, Arcep, 2023. 10. 9.
- Arora, V., & Vamvakidis, A.(2004). “The Impact of US Economic Growth on the Rest of the World: How much does it matter?”, Journal of Economic Integration, Vol. 19, No. 1, pp. 1-18, 2004. 3.

Atkinson, R.(2020), “Who Lost Lucent?: The Decline of America’s Telecom Equipment Industry”. Vol. 4, No. 3, American Affairs, Fall 2020.

_____ (2023). “America needs to sort out its industrial policy confusion”. The Hill, 2023. 4. 15.

Beason, R., & Weinstein, D. E. (1996). “Growth, economies of scale, and targeting in Japan (1955-1990)”, The review of Economics and Statistics, Vol.78, No.2, pp. 286-295. 1996.5.

Bicheno, S.(2023), “US moves to increase pressure on allies over Huawei and ZTE”, telecoms.com, 2023. 4. 12.

Björnson E., Sanguinetti, L., Hoydis, J. and Debbah, M.(2015). “Optimal design of energy-efficient multi-user MIMO systems: Is massive MIMO the answer?” IEEE Transactions on Wireless Communications, 14(6), pp. 3059-3075.

Bloom, N., Van Reenen, J., & Williams, H. (2019). “A toolkit of policies to promote innovation”, Journal of economic perspectives, Vol. 33, No. 3, pp. 163-184.

Broda, C. and Weinstein, D. E.(2004). “Variety growth and world welfare”, The American Economic Review, 94(2), pp. 139-144, 2004.5.

Buzzi, S., Colavolpe, G., Saturnino, D. and Zappone, A.(2012). “Potential games for energy-efficient power control and subcarrier allocation in uplink multicell OFDMA systems.” IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 6(2), pp. 89-103.

Buzzi S., Chih-Lin, I., Klein, T. E., Poor, H. V., Yang, C. and Zappone, A.(2016). “A survey of energy-efficient techniques for 5G networks and challenges ahead.” IEEE Journal on Selected Areas in

- Communications, 34(4), pp. 697-709.
- Cao, D., Zhou, S. and Niu, Z.(2013). “Optimal combination of base station densities for energy-efficient two-tier heterogeneous cellular networks.” IEEE Transactions on Wireless Communications, 12(9), pp. 4350-4362.
- Cavallo, A., Gopinath, G., Neiman, B. and Tang, J. (2021). “Tariff pass-through at the border and at the store: Evidence from us trade policy”, American Economic Review: Insights, Vol.3 No.1, pp. 19-34, 2021. 3.
- Cerulus, L.(2021), “Nokia pauses 5G project due to fear of US penalties”, Politico. 2021. 8. 27.
- Chen, Y., Zhang, S. and Miao, J. (2023). “The negative effects of the US-China trade war on innovation: Evidence from the Chinese ICT industry”, Technovation, Vol. 123, 102734, 2023.5.
- Choi, J., and Levchenko, A. A.(2023). “The long-term effects of industrial policy”, No. w29263, National Bureau of Economic Research, 2023. 8.
- Congress.gov(2023). “Countering Untrusted Telecommunications Abroad Act”, H.R.1149, 118th Congress, Congress.gov
- Ericsson(2020). “Breaking the energy curve: An innovative approach to reducing mobile network energy use.” Technical White Paper.
- _____(2023). “Why AI-powered RAN is an energy efficiency breakthrough”, Ericsson Blog, 2023. 1. 12.
<https://www.ericsson.com/en/blog/2023/1/ai-powered-ran-energy-efficiency>.
- European Commission(2019). “Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the

- European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: The European Green Deal”, COM(2019) 640 final, European Commission, 2019. 12. 11.
- _____ (2021). “Fit for 55’: delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality”, COM(2021) 550 final, European Commission, 2021. 7. 14.
- Evenett S. J. and J. Fritz(2020). “The Global Trade Alert Database Handbook”,
<https://gtaupload.s3.eu-west-1.amazonaws.com/Uploads/web/GTA+handbook.pdf>
- Fajgelbaum, P., Goldberg, P. K., Kennedy, P. J., Khandelwal, A., & Taglioni, D.(2023). “The US-China trade war and global reallocations”, NBER Working Paper 29562, National Bureau of Economic Research, 2023. 12.
- Feenstra, R. and Kee, H. L.(2004). “On the measurement of product variety in trade”, *The American Economic Review*, 94(2), 145-149.
- Feenstra, R. C., Madani, D., Yang, T. H. and Liang, C. Y.(1999). “Testing endogenous growth in South Korea and Taiwan”. *Journal of development economics*, 60(2), 317-341.
- Fernández-Arias, E., Sabel, C., Stein, E., & Trejos, A.(2016). “Two to tango: public-private collaboration for productive development policies”. Inter-American Development Bank, 2016.6.
- Flaaen, A., Hortaçsu, A., & Tintelnot, F.(2020). “The production relocation and price effects of US trade policy: the case of washing machines”, *American Economic Review*, 110(7), pp. 2103-2127.

- Flaaen, A. and J. R. Pierce(2019). “Disentangling the effects of the 2018-2019 tariffs on a globally connected US manufacturing sector”, Finance and Economics Discussion Series 2019-086, Board of Governors of the Federal Reserve System.
- Freund, C., Mattoo, A., Mulabdic, A., & Ruta, M.(2023). “Is US Trade Policy Reshaping Global Supply Chains?”, Policy Research working paper, No. WPS 10593, World Bank Group, 2023. 10. 31.
- GHG Protocol(2004). “A Corporate Accounting and Reporting Standard: Revised Edition”, World Resource Institute and World Business Council for Sustainable Development, 2004. 3.
- Gosho, M., Ohigashi, T., Nagashima, K., Ito, Y. and Maruo, K.(2023). “Bias in odds ratios from logistic regression methods with sparse data sets.” *Journal of Epidemiology*, 33(6), pp. 265-275.
- Greenspector(2023). “The legislative framework for the eco-design of digital services”, 2023. 10. 12.
<https://greenspector.com/en/the-legislative-framework-for-the-eco-design-of-digital-services/>.
- Gual, J. and Jódar-Rosell, S.(2006). “Vertical industrial policy in the EU: an empirical analysis of the effectiveness of state aid.” *EIB Papers*, European Investment Bank (EIB), Vol. 11, Iss. 2, pp. 80-105.
- Guellec, D. and B. Van Pottelsberghe de la Potterie(2004). “From R&D to productivity growth: Do the institutional settings and the source of funds of R&D matter?” *Oxford bulletin of economics and statistics*, 66(3), pp. 353-378, 2004. 7. 13.
- Gurcan, F. and Cagiltay, N. E.(2020). “Research trends on distance learning: a text mining-based literature review from 2008 to

- 2018.” Interactive Learning Environments, 31(2), pp. 1007-1028.
- GSMA(2023). “Mobile Net Zero: State of the Industry on Climate Action 2023.”, GSMA, 2023. 6. 21.
- Hogg, R. V., McKean, J. W. and Craig, A. T.(2017). Introduction to Mathematical Statistics, Eighth Edition. Pearson.
- Huawei, “4T4R 6 Sector, the Next Leap in LTE Capacity Expansion”,
<https://carrier.huawei.com/~//media/cnbgv2/download/products/antenna/4t4r-6-sector.pdf>
- _____ (2017). “Cloud RAN & the next-generation mobile network architecture.” Heavy Reading White Paper, Huawei, 2017.4.
- Hufbauer, G. C., and Lowry, S. (2012). “US Tire Tariffs: Saving Few Jobs at High Cost”. Peterson Institute for International Economics, (9), pp. 1-14.
- ITU(2018). “Setting the scene for 5G: Opportunities & Challenges.” ITU.
- Iplytics Platform(2022). Pohlmann, T., Buggenhagen, M., “Who is leading the 5G patent race?” Iplytics Platform, 2022. 6.
- Joung J., Ho, C. K., Adachi, K. and Sun, S.(2015). “A survey on power-amplifier-centric techniques for spectrum-and energy-efficient wireless communications.” IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(1), pp. 315-333.
- Juhász, R., Lane, N., Oehlsen, E. and Pérez, V. C.(2022). “The Who, What, When, and How of Industrial Policy: A Text-Based Approach.” <https://doi.org/10.31235/osf.io/uyxh9> , 2022. 8. 25.
- Kim, M., Lee, M., & Shin, Y. (2021). “The plant-level view of an industrial policy: The Korean heavy industry drive of 1973” (No. w29252). National Bureau of Economic Research, 2021. 9.

- Krueger, A. O., and Tuncer, B.(1982). “An empirical test of the infant industry argument”, *The American Economic Review*, Vol. 72 No.5, pp.1142-1152.
- Kundu, L., Lin X., Agostini, E., and Ditya, V.(2023). “Hardware acceleration for open radio access networks: A contemporary overview.” arXiv:2305.09588v1.
- Lane, N.(2020). “The new empirics of industrial policy”. *Journal of Industry, Competition and Trade*, Vol. 20, pp. 209-234, 2020.1.3.
- Lane, N.(2022). “Manufacturing revolutions: Industrial policy and industrialization in South Korea”. 2022. 11. 1., Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3890311>.
- Larsen L. M. P., Christiansen, H. L., Ruepp, S. and Berger, M. S.(2023). “Toward greener 5G and beyond radio-access network-A survey.” *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 4, pp. 768-797.
- Lawrence, R. Z and Weinstein, D. E.(2001). “Trade and Growth: Import Led or Export Led? Evidence From Japan and Korea”, Chapter 10, *Rethinking the East Asian Miracle*, World Bank, pp. 379-408, 2001. 6.
- Lee, J. W.(1996). “Government interventions and productivity growth.” *Journal of economic Growth*, Vol. 1, No.3, pp. 391-414. 1996. 9.
- Liang, N. and Zhang, W.(2016). “Mixed-ADC massive MIMO.” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(4), pp. 983-997.
- Lin, X., S. Rommer, S. A. Euler, E. Yavuz, and R. Karlsson(2021). “5G from space: an overview of 3GPP non-terrestrial networks.” *IEEE Communications Standards Magazine*, 5(4), pp. 147-153.
- Loh, W.-Y.(2023). “Logistic regression tree analysis”, In: Pham, H. (eds)

- Springer Handbook of Engineering Statistics. Springer Handbooks. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7503-2_30
- López-Pérez, D., M. Ding, H. Claussen, and A. Jafari(2015). “Towards 1 Gbps/UE in cellular systems: understanding ultra-Dense small cell deployments.” *IEEE Communication Surveys&Tutorials*, 17(4), pp. 2078-2101.
- Lu, X., Wang, P., Niyato, D., Kim, D. I. and Han Z.(2015). “Wireless networks with RF energy harvesting: A contemporary survey.” *IEEE Communications Survey & Tutorials*, 17(2), pp. 757-789.
- Manelici, I., and Pantea, S.(2021). “Industrial policy at work: Evidence from Romania’s income tax break for workers in IT”. *European Economic Review*, Vol. 133, 2021. 4.
- Mazzucato, M., & Perez, C.(2015). “Innovation as growth policy: The Challenge for Europe”, *The Triple Challenge for Europe*, Oxford Academic, pp. 229-264. 2015. 10.
- Mobile Network Technical Experts Committee(2023). “Assessing the carbon footprint of shutting down 2G and 3G networks and migrating their services to 4G/5G”, *Mobile Network Technical Experts Committee*, 2023. 9.
- Mo, J. and Heath, Jr. R. W.(2015). “Capacity analysis of one-bit quantized MIMO systems with transmitter channel state information.” *IEEE Transactions on Signal Processing*, 63(20), pp. 5498-5512.
- Neumark, D. and Simpson, H.(2015). “Place-based policies”, Chapter 18, *Handbook of regional and urban economics*, Vol. 5, pp. 1197-1287. Elsevier, 2015.

- Ng D. W. K., Lo, E. S. and Schober, R.(2012). “Energy-efficient and resource allocation in multi-cell OFDMA systems with limited backhaul capacity.” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 11(10), pp. 3618-3631.
- Nokia(2020). “How 5G is bringing an energy efficiency revolution.” Technical White Paper.
- Nokia Bell Labs(2022). “Energy efficiency in next-generation mobile networks.” Technical White Paper, 2022. 11. 1.
- NTIA(2023). “Notice of Funding Opportunity, Public Wireless Supply Chain Innovation Fund Grant Program – Expanding Testing and Evaluation.” NTIA, 2023. 4. 12.
- OECD(2022). “An Industrial Policy Framework for OECD Countries: Old Debates, New Perspectives.” *OECD Science, Technology and Industry Policy Papers*, No. 127. OECD Publishing, 2022.5.3.
- OMDIA(2023a). Pascal, R., Kompany, R., “Mobile Infrastructure Market Tracker - 4Q22 and FY22 Analysis.” OMDIA, 2023.3.
- _____ (2023b). Pascal, R., Kompany, R., “Open vRAN and vRAN Market Tracker - 1H23 Analysis.” OMDIA, 2023.4.
- Plantin, J.-C.(2021), “The geopolitical hijacking of open networking: the case of Open RAN.” *European Journal of Communication*. Vol. 36, Issue 4, 2021. 7.
- Pongratz, S.(2023), “What is the state of U.S. RAN and non-RAN suppliers?” *Fierce Wireless*, 2023. 4. 14.
- Qualcomm EDGEWISE™ SUITE “Centralized multi-vendor RAN automation and management for modern 5G private networks.” <https://www.qualcomm.com/products/internet-of-things/networkin>

g/cellular-networks/qualcomm-edgewise-suite/private-networks

Rouvinen, P.(2002). “R&D—productivity dynamics: causality, lags, and ‘dry holes’.” *Journal of Applied Economics*, 5(1), pp. 123-156.

Samsung(2021). “Virtualized RAN - vol.2.” Technical White Paper, 2021.4.

Saxena, N., Roy, A., and Kim, H.(2016). “Traffic-aware cloud RAN: A key for green 5G networks.” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(4), pp. 1010-1021.

Sherzodjon, Y.(2023). “The problem of overfitting in machine learning and its solutions.” *International Journal of Contemporary and Technical Research*. pp. 144-147.

Silaghi, M. I. P., D. Alexa, C. Jude, and C. Litan(2014). “Do business and public sector research and development expenditures contribute to economic growth in Central and Eastern European Countries? A dynamic panel estimation.” *Economic Modelling*, 36, pp. 108-119.

Slattery, C., & Zidar, O.(2020). “Evaluating state and local business incentives”. *Journal of Economic Perspectives*, 34(2), pp. 90-118, Spring 2020.

Tan, R., Shi, Y., Fan, Y., Zhu, W. and Wu, T.(2022). “Energy saving technologies and best practices for 5G radio access network.” *IEEE Access*, 10, pp. 51747-51756.

The White House(2021). “Joint Statement from Quad Leaders.” The White House, 2021. 9. 24.

_____ (2022). “Indo-Pacific Strategy of the United States.” The White House, 2022. 2.

_____ (2023). “Building a Clean Energy Economy: A Guidebook

- to the Inflation Reduction Act's Investments in Clean Energy and Climate Action." 2023. 1.
- Ulukus, S., Yener, A., Erkip, E., Simeone, O., Zorzi, M., Grover, P. and Huang, K.(2015). "Energy harvesting wireless communications: A review of recent advances." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33(3), pp. 360-381.
- UNIDO(2023). Juhász, R., Lane, N., Oehlsen, E. and Pérez, V. C., "Global Industrial Policy: Measurement and Results." Issue No. 1, Policy Brief Series: Insights on Industrial Development. UN Industrial Development Organization, 2023. 3.
- U.S. ITC(1998). "Telecommunications Equipment: U.S. Performance in Selected Major Markets." Office of Industries, U.S. International Trade Commission, 1998. 12.
- Venturino, L. and Buzzi, S.(2015). "Energy-aware and rate-aware heuristic beamforming in downlink MIMO OFDMA with base-station coordination." *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(7), pp. 2897-2910.
- WEF(2023). "Chief Economists Outlook." World Economic Forum, 2023.5.
- Wieser, R.(2001). "R&D and Productivity: Empirical Evidence at the Firm Level." WIFO Working Papers. No. 158, Austrian Institute of Economic Research (WIFO), 2001.10.
- World Bank(1993), "The East Asian Miracle: Economic Growth and Public Policy", A World Bank Policy Research Report, Oxford University Press, 1993.9.26.
- Zappone, A., L. Sanguinetti, G. Bacci, E. Jorswieck, and M. Debbah(2016). "Energy-efficient power control: A look at 5G wireless technologies." *IEEE Transactions on Signal Processing*,

64(7), pp. 1668-1683.

Zhang, S.(2019). “An overview of network slicing for 5G.” *IEEE Transactions on Wireless Communication*, 26(3), pp. 111-117.

ZTE(2020). “Powerpilot; 5G energy saving in coordination with 4G.” ZTE, 2020. 12. 15.

[홈페이지]

European Framework Initiative for Energy and Environmental Efficiency in the ICT Sector, <https://cordis.europa.eu/project/id/690911>.

GTA(Global Trade Alert), <https://www.globaltradealert.org>.

ICT Footprint EU,

<https://ictfootprint.eu/en/ict-standards/sdos-ict-standards>.

MathWorks, <https://www.mathworks.com/discovery/o-ran.html>.

ORPC 홈페이지, <https://www.openranpolicy.org/>.

O-RAN alliance 홈페이지, <https://www.o-ran.org/>.

Sense Wide, <https://jb-story.tistory.com/346/>.

Telecompedia, <https://telecompedia.net/ran/>.

TTA 정보통신용어사전, <https://terms.tta.or.kr/main.do>.

정보통신정책연구원 기본연구 안내

■ 2021 기본연구

- 기본연구 21-01 재난상황에서의 공공데이터 활용에 관한 실증분석(윤성욱, 김경훈, 김민진)
- 기본연구 21-02 '포스트 코로나 시대', 혐오 유발 보도의 문제점 및 정책적 대응 방향에 관한 연구(심홍진, 이훈, 연지영)
- 기본연구 21-03 기업결합 관련 경쟁정책이 혁신생태계에 미치는 영향 연구(박동욱, 이은민, 강준모)
- 기본연구 21-04 공공영역의 정보 연계 및 공유 활성화 방안 연구(문정욱, 양기문, 왕재선, 노재인)
- 기본연구 21-05 AI 분야 일자리 미스매치에 관한 연구(고세란, 이선희)
- 기본연구 21-06 디지털경제 활성화를 위한 ICT 분야 교육 소외계층 지원방안 연구(최지은, 정연수, 최세림, 이은영)
- 기본연구 21-07 기업집중이 ICT산업에 미치는 영향 분석(고동환, 오윤석, 김봉진)
- 기본연구 21-08 통신 네트워크 고도화 전략 연구(여재현, 양원석, 정인준, 황혜인)
- 기본연구 21-09 매몰비용 효과를 고려한 경매방식 연구(김희천)

■ 2022 기본연구

- 기본연구 22-01 탈통신시대, 통신기업 성장 전략 효과 분석: 인수합병을 중심으로(김민희)
- 기본연구 22-02 지리공간적 측면을 고려한 5G 시대의 주파수 관리 정책방안 연구(박지현)
- 기본연구 22-03 방송법 내 다양성 정책의 실효성 분석 및 개선방안 연구(성욱제)
- 기본연구 22-04 중앙은행디지털화폐(CBDC) 설계의 쟁점과 정책방향: 분산원장기술 적용의 영향과 디지털 금융생태계 활성화를 위한 설계 방향(박동욱)
- 기본연구 22-05 ICT 투자가 지역 균형 발전에 미치는 영향(장재영, 박소연)
- 기본연구 22-06 디지털 전환기 일자리의 변화 분석 및 대응 방안 연구(문아람, 김미경, 조유선)
- 기본연구 22-07 수요자 중심의 데이터 활용 제고를 위한 데이터 채택 영향요인 연구(한은영, 김나연)
- 기본연구 22-08 특허데이터를 활용한 ICT 부문 기술정책 제언: 메타버스를 중심으로

(노희용, 박지원)

- 기본연구 22-09 TV 시청 관습의 변화 및 영상콘텐츠 이용행태의 다양화에 대한 연구
(김남두, 이소은)
- 기본연구 22-10 OTT 시대의 방송·미디어시장 공정경쟁 환경 조성 방안 연구(황유선)
- 기본연구 22-11 기술패권 경쟁시대의 글로벌 디지털 의제 분석 및 우리나라 ICT 외
교예의 시사점 연구(강하연, 김병우)
- 기본연구 22-12 이동통신 미래 시장환경변화 예측 및 산업 활성화 요소 연구(여재현,
김지환, 조수정, 장희선, 박의환)
- 기본연구 22-13 통신 이용자보호를 위한 이용정보 제공 강화 방안 연구(염수현, 강인
규, 황정현, 전주용, 최현홍)

■ 2023 기본연구

- 기본연구 23-01 데이터 경제 활성화를 위한 민관 역할분담과 정책 개입영역 연구
(윤성욱, 박소연)
- 기본연구 23-02 해외 주요국 신규 사업자 이동통신시장 진입 효과 분석(김민희, 정
광재, 전성호)
- 기본연구 23-03 유사국 사례를 통해 본 북한 통신시장 발전 방안 연구(임동민, 서소영)
- 기본연구 23-04 메타버스 시대 기본권 보호에 관한 연구: 인격권 논의를 중심으로
(권은정)
- 기본연구 23-05 디지털화폐 생태계 변화에 대응한 중앙은행 디지털화폐(CBDC) 도입
정책 연구(박동욱)
- 기본연구 23-06 ICT 확산에 따른 노동시장 임금격차(최지은, 이은영, 최세림, 이현옥)
- 기본연구 23-07 데이터 생산·관리 역량 평가를 위한 성숙도 모형 개발 연구(노희용,
장신재, 박지원)
- 기본연구 23-08 인터넷 생태계 환경 변화에 따른 네트워크 인프라 비용 분담에 관한
연구(염수현, 강인규)
- 기본연구 23-09 미디어 이용 조사의 모드 효과 비교(신지형)
- 기본연구 23-10 방송미디어분야 자율규제 제도화 방안 연구(이종원)
- 기본연구 23-11 이동통신 네트워크 인프라 산업 생태계의 전환 방향 연구(여재현,
박지현, 윤도원)



● 저 자 소 개 ●

여 재 현

- KAIST 경영과학 석사
- KAIST 산업공학 박사
- 현 정보통신정책연구원 선임연구위원

윤 도 원

- 고려대학교 경제학 석사
- 현 정보통신정책연구원 연구원

김 선 우

- University of California, Santa Barbara
전자공학 석/박사
- 현 한양대학교 융합전자공학부 교수

박 의 환

- 고려대학교 경제학 석/박사
- 현 한남대학교 경제학과 조교수

박 지 현

- 서울대학교 경제학 석사
- University of California, Davis 경제학 박사
- 현 정보통신정책연구원 연구위원

장 희 선

- KAIST 산업공학 석/박사
- 현 평택대학교 융합소프트웨어학과 교수

정 인 준

- POSTECH 산업경영공학 석/박사
- 현 대구대학교 경영학부 교수

기본연구 23-11

이동통신 네트워크 인프라 산업 생태계의 전환 방향 연구

2023년 12월 일 인쇄

2023년 12월 일 발행

발행인 배 경 울

발행처 정보통신정책연구원

충청북도 진천군 덕산읍 정통로 18

TEL: 043-531-4114 FAX: 043-535-4695~6

인쇄 인성문화

ISBN 979-11-7000-370-0 93320

<비매품>