

상사지원인식이 혁신행동에 미치는 영향관계 연구: 직무열의의 매개효과와 성과압박의 조절효과

친루이¹, 진춘화^{2*}, 류양³

¹호남대학교 경영학과 박사과정, ²호남대학교 경영학과 조교수, ³호남대학교 경영학과 박사과정

A Study on the Relationship Between Perceived Supervisor Support and Innovative Behavior: The Mediating Effects of Work Engagement and The Moderating Effects of Performance Pressure

Rui Qin¹, Chunhua Jin^{2*}, Yang Lyu³

¹Doctoral Student, Dept. of Business Administration, Honam University

²Assistant Professor, Dept. of Business Administration, Honam University

³Doctoral Student, Dept. of Business Administration, Honam University

요약 본 연구는 상사지원인식의 중요성에 중점을 두고, 그것이 조직구성원의 혁신행동에 미치는 영향을 조사하였다. 특히, 상사지원인식과 혁신행동의 관계에서 직무열의의 매개효과와 직무열의와 혁신행동 간의 관계에서 성과압박의 조절효과를 검증하였다. 이를 검증하기 위해 중국 내 중소기업에 근무하고 있는 재직자를 대상으로 설문조사를 진행하여 SPSS 28.0 통계프로그램을 사용하여 실증분석을 하였다. 연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 상사지원인식은 혁신행동에 유의한 정(+)의 영향을 미친다는 것이 검증되었다. 둘째, 직무열의는 상사지원인식과 혁신행동 간의 관계에서 부분적 매개효과를 가진다는 것이 검증되었다. 셋째, 성과압박은 직무열의와 혁신행동 간의 관계에서 부(-)적인 조절효과를 가진다는 것이 밝혀졌다. 본 연구결과를 바탕으로 시사점, 한계점 및 향후의 연구 방향을 제시하였다.

키워드 : 상사지원인식, 혁신행동, 직무열의, 성과압박

Abstract This study focused on the importance of recognizing supervisor support and investigated its effect on the innovation behavior of organization members. In particular, the mediating effect of job enthusiasm in the relationship between supervisor support perception and innovation behavior and the moderating effect of performance pressure in the relationship between job enthusiasm and innovation behavior were verified. To verify this, a survey was conducted on the incumbent working for small and medium-sized enterprises in China and an empirical analysis was conducted using the SPSS 28.0 statistical program. The research results are as follows. First, it was verified that recognition of supervisor support had a significant positive (+) effect on job enthusiasm. Second, it was verified that job enthusiasm had a significant positive (+) effect on innovation behavior. Third, it was verified that job enthusiasm has a partial mediating effect in the relationship between supervisor support perception and innovation behavior. Fourth, it was found that performance pressure has a positive (+) moderating effect in the relationship between job enthusiasm and innovation behavior. Based on the results of this study, implications, limitations, and future research directions were presented.

Key Words : Perceived Supervisor Support, Innovative Behavior, Work Engagement, Performance Pressure

*Corresponding Author : Chunhua Jin(chunhua517@honam.ac.kr)

Received June 20, 2024

Revised July 22, 2024

Accepted September 24, 2024

Published September 28, 2024

1. 서론

혁신활동은 급격한 기술 변화와 불확실성이 강한 현대의 비즈니스 환경속에서 기업의 지속가능경영의 실천을 뒷받침하는 필수적인 요소라 할 수 있다[1]. 혁신활동을 실행하는 주체는 조직의 구성원이지만 혁신적인 아이디어 창출과 함께 이를 실행에 옮김에 있어[2], 조직 내 상사와 부하 간, 동료 간의 상호지지를 바탕으로 하기 때문에 조직구성원의 역할과 태도가 중요하다고 할 수 있다[3]. 따라서 구성원 개개인이 열의를 가지고 직무를 수행하는 직무열의와 구성원을 적극적으로 지원하는 상사지원이 중요하다고 할 수 있다[4].

상사지원인식은 조직구성원이 직무를 실행할 때 상사로부터 받는 관심과 지원에 대한 조직구성원들의 지각의 정도로[5], 강순·안성익·김성용(2021)의 연구에서는 상사지원인식은 혁신행동에 유의한 영향을 미친다는 것이 검증되었다[6].

직무열의는 동기부여 이론에서 출발된 개념으로 직무성격, 태도 업무변수에 비해 직무결과에 미치는 영향이 크고[7], 조직구성원이 자신이 일을 하면서 투입하는 인지적, 정서적, 행동적 에너지를 의미하며[8], 혁신행동에 유의한 영향을 미친다[9].

조직구성원의 높은 성과압박 인식은 불확실한 경영 환경에서 기업의 경쟁력을 제고할 수 있지만, 잠재적으로 조직구성원의 자율성과 내재적 동기를 억제하는 부담으로 작용할 수 있다.

혁신행동의 중요성 부각과 함께 조직이론 연구에서도 혁신행동의 선행요인에 조직지원인식에 초점을 맞춘 연구는 활발하게 이루어지고 있지만 조직구성원과 가장 가까운 상사에 대한 지원인식과 혁신행동 간의 관계를 실증한 연구는 부족하다는 것이 실증이다. 뿐만 아니라 직무열의와 혁신행동 간의 관계에 성과압박을 조절변수로 도입하여 실증함으로써 선행연구와의 이론적 차이점을 도모하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 조직구성원의 혁신행동 강화와 직무열의 촉진을 목적으로 직무열의와 성과압박의 중요성을 규명함과 동시에 상사지원인식, 직무열의, 성과압박과 혁신행동 간의 영향관계를 실증하고자 한다.

본 연구결과는 향후 중국 시장 진출 예정인 글로벌 기업의 인적자원관리 부서에 합리적이고 체계화된 인

적자원관리 방안을 제공하는데 그 의의가 있다고 할 수 있다.

2. 이론적 고찰 및 연구가설의 설정

2.1 상사지원인식(Perceived supervisor support)

상사지원인식은 상사가 구성원의 기여도나 전반적인 만족도에 대해 얼마나 관심을 갖고 이를 증진시키려 노력하는가에 대해 구성원이 인지하는 정도이며, 상사에 대한 구성원의 자신에 대한 관심여부와 상사의 자신에 대한 지원 가능성에 대한 지각하는 과정으로, 조직 내 효율적인 협력과 성과를 이끌어낼수 있는 요인이다[10]. 상사지원을 인식하는 구성원은 충성스러운 행동을 보인다[11].

본 연구에서는 상사지원인식을 조직구성원이 지각하는 조직구성원이 업무를 수행함에 있어 조직의 상사로부터 받는 지원과 격려, 관심에 대한 조직구성원의 지각으로 정의한다.

2.2 직무열의(Work Engagement)

Kahn(1990)의 연구에서는 직무열의를 사람의 인지, 정서 및 행동을 흡족하게 활동적으로 수행하기 위해서 개인이 선호하는 생각을 적용하는 것이라고 정의하였으며[7], Bakker(2008)의 연구에서는 직무열의를 동기부여 개념 정의하고, 직무열의에 찬 조직구성원은 새로운 직무에 도전적인 목적과 목표를 도달하기 위한 노력한다고 하였다[12].

본 연구에서는 이상의 선행연구를 바탕으로 직무열의를 조직구성원이 역할 수행의 과정에 스스로 투입하는 개인적 에너지를 투입하는 조직구성원의 직무와 감정적인 연결을 경험하는 상태라고 정의한다.

2.3 혁신행동(Innovative Behavior)

Scott & Bruce(1994)의 연구에서는 조직의 혁신을 일으키는 조직구성원 개인의 행동을 혁신행동이라고 정의하였으며[2], Janssen(2000)의 연구에서는 조직 내의 업무수행 과정에서 새로운 아이디어를 의도적으로 창출하여, 도입하고 활용하는 것을 혁신행동이라고 정의하였다[13].

혁신행동은 새로운 아이디어가 창출되고, 그 아이디어가 조직구성원 간 의견 교환을 통해 채택되며, 조

직 내에서 실행되고 내재화되는 전반적인 과정이므로 [14], 조직 내부로 흡수되고 작동될 때 그 효과성은 무한하다. 따라서 조직구성원의 혁신행동을 촉구함에 있어서 상사의 지원은 불가피한 요소라 할 수 있다.

2.4 성과압박

조직에서 리더가 조직구성원의 성과에 대한 평가결과에 따른 보상과 처벌을 강화하게 되면 조직 내부에서의 경쟁이 심화되며 이에 따라 조직구성원은 조직이 원하는 목표를 달성하는 것이 중요함을 인식케한다 [15].

성과압박은 조직구성원들이 조직 내에서 지각하는 성과에 대한 압박감의 인지 수준이며 [15], 직무수행에 있어 조직구성원이 자신의 소속 팀에서 업무의 양과 달성해야 하는 목표수준에 대한 인지적 판단에서 비롯된 심리적 부담감이다 [16].

조직의 평가체계에서 상사의 부하에 대한 평가는 부하의 보상과 처벌을 수반한다. 이렇듯 조직구성원의 성과는 그들의 중요한 결과와 연결되어 있기 때문에 부하는 상사의 기대치에 미칠 수 있도록 즉, 조직의 목표달성을 위한 긴박감을 느끼게 된다. 본 연구에서는 이것을 성과압박이라고 정의한다.

2.5 상사지원인식과 직무열의

Eisenberger(2009)의 연구에서는 상사지원인식은 직무몰입 및 직무열의에 긍정적인 영향을 미친다는 것이 검증되었으며 [17], Saks(2006)의 연구에서는 조직지원인식과 상사지원인식은 직무열의에 긍정적인 영향 미친다는 것이 실증되었다 [18]. 또한 Dabke & Patole(2014)의 연구에서는 조직지원인식과 상사지원인식은 직무열의에서는 정(+)의 영향을 미친다는 것이 밝혀졌다 [19]. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 가설을 설정하였다.

가설 1: 상사지원인식은 직무열의에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

2.6 직무열의와 혁신행동

혁신행동은 문제 해결 능력에 비롯되는 개인 요인 [2]과 동기부여, 리더십, 동료와의 사회적 관계와 같은 조직 요인의 영향을 받는다 [13]

직무열의는 내재적 동기를 증대시킴으로써 궁극적으로 업무에 있어서 혁신성을 촉진한다 [20]. 직무열의를 가진 조직구성원은 다양한 사고방식으로 업무를 대하며, 충분한 에너지를 틀에 묶이지 않는 행동을 보이기 때문에 문제 해결능력이 출중하며, 열의를 가지고 직무에 임하는 조직구성원은 그렇지 않은 조직구성원에 비해 혁신적인 행동을 보다 활발히 한다 [21].

따라서 본 연구에서는 다음과 같은 가설을 설정하였다.

가설 2: 직무열의는 혁신행동에 정(+)의 영향을 미칠 것이다.

2.7 직무열의의 매개효과

사회적 교환이론 관점에서 상사지원인식은 일종의 호혜 규범을 형성하여 혁신행동에 영향을 줄 가능성이 높으며, 상사지원인식이 일종의 직무자원으로 작용하여 구성원의 직무열의를 강화함으로써 그들의 혁신행동을 촉구할 것이라고 예상할 수 있다 [22]

백은실·김해룡(2021)의 연구에서는 직무열의가 혁신행동에 유의한 정(+)을 미치며 [23], 감성리더십과 혁신행동 간의 관계에서 직무열의는 완전매개효과를 가진다는 것이 검증되었다. 조윤희·유고운(2020)의 연구에서는 상사지원은 조직구성원의 직무열의를 강화하고 강화된 직무열의는 궁극적으로 조직구성원의 혁신행동을 촉진한다는 것이 밝혀졌다 [24].

따라서 본 연구에서는 다음과 같은 가설을 설정하였다.

가설 3: 직무열의는 상사지원인식과 혁신행동 간의 관계를 매개할 것이다.

2.8 성과압박의 조절효과

상사의 부하의 직무성과에 대한 평가는 부하의 보상과 처벌을 수반한다. 따라서 안정적인 직장생활을 도모하고 급여인상, 승진과 같은 보상을 위해 조직구성원은 상사의 기대치에 미치는 행동을 하려고 할 것이며, 열의를 가지고 업무에 임할 것이다. 직무열의가 높은 조직구성원은 새로운 아이디어 창출에 그치지 않고 혁신적인 아이디어를 상사와의 협력을 통해 조직의 성과에 이바지할 수 있도록 혁신행동을 할 것이

다. 이 과정에서 조직구성원이 인지하는 성과압박은 직무열의가 혁신행동에 미치는 영향의 수준을 정적으로 조절할 것으로 예측할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 다음과 같은 가설을 설정하였다.

가설 4: 성과압박은 직무열의가 혁신행동에 미치는 영향의 수준을 정적으로 조절할 것이다.

3. 연구모형 및 분석방법

3.1 연구모형

본 연구는 상사지원인식이 혁신행동에 미치는 영향에서 직무열의의 매개효과와 직무열의과 혁신행동 간의 관계에서 성과압박의 조절효과를 검증하는 연구이다. 연구내용 및 가설을 기반으로 연구모형으로 도식화하면 Fig. 1과 같다.

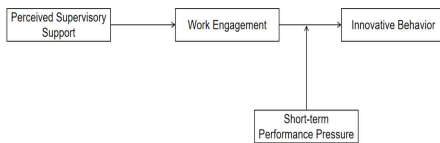


Fig. 1. Research Model

3.2 변수의 조작적 정의

조직지원인식에 관한 문항은 김영진(2015)의 연구에서 사용된 7개 문항들을 수정하여 사용하였으며[25], 혁신행동에 관한 문항은 민경원(2016)의 연구에서 사용된 문항을 수정·보완한 6개 문항을 사용하였다[26].

직무열의에 관한 측정지표는 박우진(2020)의 연구에서 개발된 9개 문항을 사용하였으며[27], 성과압박에 관한 문항은 尤麗嬌(2020)의 연구에서 사용된 6개 문항을 사용하였다[28]. 설문 응답자의 주관적 인식도는 모두 Likert 5점 척도로 측정하였다.

3.3 분석방법

본 연구의 목적을 달성하기 위하여 임의표본추출을 하여 중국 내 중소기업 재직자를 대상으로 2023년 12월 25일부터 2024년 1월 25일까지 온라인 설문 조사 사이트인 원쥘엔싱(問卷星)을 사용하여 설문조사를

실시하였다. 총 275부의 설문데이터가 최종 분석에 사용되었다. SPSS 28.0 통계 프로그램을 통해 인구통계학적 특성 파악을 위해 기술통계분석, 빈도분석을 실시하였으며, 연구모형의 타당도와 신뢰성을 분석을 위해 요인분석 및 신뢰도 분석, 가설을 검증하기 위해 단순 회귀분석, 3단계 회귀분석 및 위계적 회귀분석을 실시하였다.

4. 실증분석

4.1 인구통계학적 특성

인구통계학적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다. 성별 상황을 살펴보면 남성이 144명(52.36%), 여성이 131명(47.64%)으로 여성보다 남성의 비중이 큰 것으로 나타났다. 연령대를 살펴보면 20~29세 연령층이 76명(27.64%)로 가장 많았으며, 그다음으로 30~39세 연령층이 56명(20.35%)로, 50~59세 연령층이 54명(19.64%), 40~49세 연령층이 51명(18.55%), 60세 이상 연령층이 38명(13.82%)의 순으로 나타났다.

학력상황을 살펴보면 대학교 졸업이 34.55%, 전문대학 졸업이 32%, 고등학교 졸업이 3.64%, 대학원 이상 졸업이 29.82%를 차지하는 것으로 나타났다.

4.2 타당도 및 신뢰도 분석

탐색적 요인분석 결과는 Table 1에 제시한 바와 같이 상사지원인식은 총 7개 문항으로써 이를 측정하는 문항들은 .749에서 .907까지 요인1로 묶였고, 직무열의는 총 9개 문항으로써 이를 측정하는 문항들은 .766에서 .914까지 요인2로 묶였으며, 성과압박은 총 6개 문항으로써 .773에서 .923까지 요인3으로, 혁신행동은 .771에서 .930까지 요인4로 묶였다. 또한 변수들의 고유치를 살펴보면 4.267부터 6.467로 모두 1 이상으로, KMO 값은 .968(sig=.000)로 나타나 요인분석을 시행하는데 적절하다고 볼 수 있다.

신뢰도 분석을 시행한 결과를 확인하면 다음과 같다. 상사지원인식은 .935, 직무열의는 .951, 성과압박은 .913, 혁신행동은 .927로 모두 .7 이상으로 나타났기 때문에 신뢰도가 확보되었다고 판단할 수 있다.

Table 1. The Result of Factor Analysis

Variables	Item	Component				Communality	Cronbach's α
		1	2	3	4		
Perceived Supervisory Support (PSS)	1	.133	.907	.064	.067	.849	.935
	2	.269	.749	.113	.118	.660	
	3	.203	.818	.164	.109	.749	
	4	.214	.801	.111	.080	.707	
	5	.209	.799	.119	.152	.719	
	6	.172	.798	.148	.093	.697	
	7	.239	.776	.128	.096	.685	
Work Engagement (WE)	1	.914	.071	.035	.011	.842	.951
	2	.800	.135	.210	.149	.724	
	3	.798	.195	.071	.135	.699	
	4	.818	.232	.115	.093	.744	
	5	.821	.194	.168	.067	.745	
	6	.773	.216	.178	.144	.697	
	7	.790	.216	.165	.109	.710	
	8	.780	.218	.201	.091	.704	
	9	.766	.241	.160	.144	.691	
Performance Pressure (PP)	1	-.010	-.010	.046	.923	.855	.913
	2	.155	.199	.145	.773	.682	
	3	.174	.018	.100	.789	.663	
	4	.103	.090	.132	.791	.661	
	5	.085	.185	.137	.796	.695	
	6	.164	.159	.130	.800	.709	
Innovative Behavior (IB)	1	.040	.052	.930	.051	.872	.927
	2	.216	.132	.773	.165	.689	
	3	.158	.195	.786	.169	.709	
	4	.169	.110	.828	.158	.751	
	5	.231	.212	.771	.100	.702	
	6	.183	.094	.826	.098	.734	
Eigenvalue	6.467	5.156	4.455	4.267			
Explain rate(%)	23.098	18.414	15.910	15.238			
Accumulation rate(%)	23.098	41.512	57.422	72.660			

KMO=.968(sig=.000)

4.3 상관관계분석

상관관계 분석결과는 Table 2의 제시와 같다. 상사 지원인식은 직무열의($r=.477, p<.001$), 성과압박($r=.282, p<.001$), 혁신행동($r=.341, p<.001$)와 유의한 정(+)적 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 직무열의는 성과압박($r=.289, p<.001$), 혁신행동($r=.392, p<.001$)와 유의한 정(+)적 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 성과압박은 혁신행동($r=.310, p<.001$)와 유의한 정(+)적 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

Table 2. The Result of Descriptive Statistics, Reliability and Correlation Analysis

	Mean.	S.D.	PSS	WE	SPP	IB
PSS	3.163	1.230	1			
WE	3.225	1.203	.477***	1		
PP	3.255	1.198	.282***	.289***	1	
IB	3.299	1.250	.341***	.392***	.310***	1

***: $p<.001$, **: $p<.01$, *: $p<.05$

4.4 가설검증

본 연구의 가설검증을 위해 단순 회귀분석, 3단계 회귀분석 및 위계적 회귀분석을 실시하였으며 상사 지원인식이 직무열의에 미치는 영향을 분석결과는 Table 3의 제시와 같다. 상사지원인식($\beta=.477, p<.001$)이 직무열의에 유의한 정(+)의 영향을 미친다는 것이 검증되었다. 따라서 가설1은 채택되었다.

Table 3. The Influence of Perceived Supervisory Support on Work Engagemen

Dependent variable: WE					
	Unstandardized		Standardized	t	p
	B	S.E	β		
Constant	1.656	.183		9.072	.000
PSS	.495	.055	.477	8.969	.000

$R^2=.228$ Adjusted $R^2=.225$ F=80.441***
Durbin-Watson=2.009

***: $p<.001$, **: $p<.01$, *: $p<.05$

직무열의가 혁신행동에 미치는 영향을 분석결과는 Table 4의 제시와 같다. 직무열의($\beta=.392, p<.001$)가 혁신행동에 유의한 정(+)의 영향을 미친다는 것이 검증되었다. 따라서 가설2는 채택되었다.

Table 4. The Influence of Work Engagemen on Innovative Behavior

Dependent variable: IB					
	Unstandardized		Standardized	t	p
	B	S.E	β		
Constant	2.088	.180		11.613	.000
WE	.376	.053	.392	7.044	.000

$R^2=.154$ Adjusted $R^2=.151$ F=49.623***
Durbin-Watson=1.860

***: $p<.001$, **: $p<.01$, *: $p<.05$

상사지원인식이 혁신행동에 관계에서 직무열의가 매개효과를 가지는지 여부를 확인하기 위하여 분석결과는 Table 5의 제시와 같다.

회귀모형의 유의성 검증 결과, 통계적으로 유의하게 나타났으며($F=80.441, p<.001$), 회귀모형의 설명력은 80.44%로 나타났다($R^2=.228, Adjusted R^2=.225$).

매개효과를 검증하는 1단계에서 독립변수인 상사지원인식($\beta=.477, p<.001$)은 매개변수인 직무열의에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 2단계에서 독립변수 상사지원인식($\beta=.341, p<.001$)은 혁신행동에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 매개효과 검증의 마지막 단계인 3단계에서 직무열의($\beta=.297, p<.001$)는 혁신행동에 유의한 영향을 주어 매개효과가 있는 것으로 나타났다.

3단계에서 상사지원인식($\beta=.199, p<.01$)은 혁신행동에 유의한 영향을 미치고 회귀계수가 .477에서 .199로 감소하는 것으로 나타나 직무열의는 상사지원인식이 혁신행동에 미치는 영향에서 부분적 매개역할을 한다는 것이 검증되었다. 따라서 가설3은 채택되었다.

Table 5. Mediating Effect of Work Engagement: Perceived Supervisory Support and Innovative Behavior

Dependent variable: IB						
	Model 1		Model 2		Model 3	
	β	t	β	t	β	t
Constant		9.072***		11.896***		8.541***
PSS	.477	8.969***	.341	5.997***	.199	3.202**
WE					.297	4.768***
R^2	.228		.116		.185	
Adjusted R^2	.225		.113		.179	
F	80.441***		35.965***		22.730***	

***: $p<.001$, **: $p<.01$, *: $p<.05$

본 연구에서는 Aiken & West(1991)가 제안한 위계적 회귀분석을 실시하여 성과압박의 조절효과를 검증하였다. 1단계에서는 독립변수가 종속변수에 영향 여부를 검증하고, 2단계에서는 독립변수와 조절변수를 포함한 회귀분석을 실시하였으며, 3단계에서는 독립변수, 조절변수, 독립변수와 조절변수의 상호작용변수(독립변수×조절변수)를 추가한 위계적 회귀분석을 실시하였다. 분석결과는 Table 6의 제시와 같다.

직무열의와 성과압박을 포함한 2단계 회귀분석의 설명력은 19.6%이며, 직무열의와 성과압박의 상호작

용변수(직무열의×성과압박)가 포함된 3단계 회귀분석의 설명력은 24%이다. 3단계 회귀모형의 설명력은 2단계에 비하여 4.4% 증가하였으며, 상호작용항 값은 .213로 통계적으로 유의한 것으로 나타나, 성과압박은 직무열의와 혁신행동 간의 관계에서 조절효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 가설4는 채택 되었다. Fig. 2의 제시와 같이 직무열의와 혁신행동 간의 관계에서 성과압박은 조절효과를 보여준다. 성과압박이 낮을 때 보다 성과압박이 높을 때, 직무열의가 혁신행동에 미치는 영향은 보다 강하다는 것이 검증되었다.

Table 6. Moderating Effect of Performance Pressure: Work Engagement and Innovative Behavior

Dependent variable: IB						
	Model 1		Model 2		Model 3	
	β	t	β	t	β	t
Constant		11.613***		6.829***		7.393***
WE	.392	7.044***	.330	5.812***	.303	5.442***
PP			.215	3.782***	.196	3.528***
WE*PP					.213	3.962***
R^2	.154		.196		.240	
Adjusted R^2	.151		.190		.232	
F	49.623***		14.301***		15.700***	

***: $p<.001$, **: $p<.01$, *: $p<.05$.

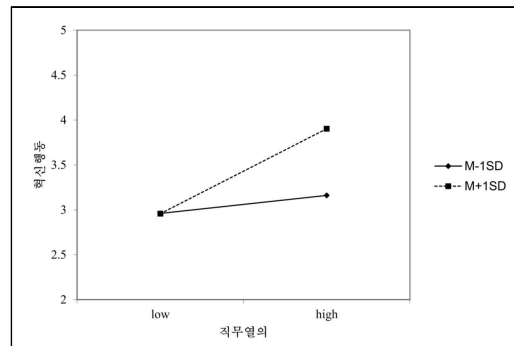


Fig. 2. Moderating effect model

5. 결론

본 연구에서는 상사지원인식에 초점을 맞춰 그 중요성을 강조함과 동시에 상사지원인식이 조직구성원의 혁신행동에 미치는 영향에서 직무열의의 매개효과와 직무열의와 혁신행동 간의 관계에서 성과압박의 조절효과를 검증하였다. 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 독립변수인 상사지원인식은 직무열의에 유의

한 정(+의 영향을 미친다는 것이 밝혀졌다. 이는 상사지원인식이 조직구성원의 직무열의를 높일 수 있으므로 조직에서 상사는 조직구성원을 배려하고 지원하여 조직구성원이 상사가 자신을 배려하고 있다는 인지를 심어줌으로써 조직구성원의 직무열의를 강화해야함을 시사한다.

둘째, 직무열의는 혁신행동에 유의한 정(+의 영향을 미칠뿐만 아니라 상사지원인식과 혁신행동 간의 관계에서 부분적 매개효과를 가진다는 것이 검증되었다. 이는 조직구성원이 열의를 가지고 직무에 임하는 중요성의 재조명 하였으며, 조직구성원이 직무열의를 가질 수 있는 동기부여와 함께 조직분위기조성을 해야함을 시사한다.

셋째, 성과압박은 직무열의가 혁신행동에 미치는 영향의 수준을 정적으로 조절한다는 것이 실증되었다. 이는 성과압박을 인지하는 조직구성원의 수준에 따라 적절한 성과압박은 조직구성원의 혁신행동에 이어지므로 상사는 개개인의 부하가 능력을 감안하여 실천 가능한 도전적인 목표설정을 하여 궁극적으로 혁신적인 행동을 하도록 유인해야 함을 시사한다.

이러한 연구결과는 혁신행동을 강화하는 요인으로 상사지원인식과 직무열의의 중요성을 규명함과 동시에 상사지원인식, 직무열의, 성과압박, 혁신행동 간의 영향관계를 명확히 하여 향후 연구에 이론적 근거를 제공하였다는 점에서 의의가 있다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 본 연구의 조사 대상은 주로 중국 기업의 직원을 대상으로 하며, 조사 대상은 일정한 한계가 있어 향후 연구에서는 조사 대상의 범위를 넓힐 필요가 있다.

둘째, 이 논문의 샘플 수는 너무 적으며 향후 연구에서 샘플 수를 늘릴 필요가 있다.

REFERENCES

[1] Y. H. Jeung, & C. Y. Hwang. (2024). Analysis of the Impact of a Superior's Transformational Leadership on Innovation Task Behavior and the Mediating Effects of Employee Commitment and Organizational Citizenship Behavior. *Studies on Humanities and Social Sciences (SHSC)*, 6(2), 133-152. DOI : 10.62783/SHSS.6.2.9

[2] Scott, S. G., & Bruce, R. A. (1994). Determinants of innovative behavior: A path model of individual innovation in the workplace. *Academy of management journal*, 37(3), 580-607.

[3] H. Y. Kang, & Y. S. Ham. (2021). A Study on the Mediating Effect of Organizational Trust on the Relationship between Leaders' Transformative Leadership and Employees' Innovative Behavior: Focusing on the Relationship between the Head Directors of Local Public Enterprise and Employees. *Korean Journal of Local Government & Administration Studies*, 35(1), 159-183.

[4] Y. E. Yang., S. J. Kim, & K. W. Kwon. (2021). The relationship among psychological ownership, job crafting, and job engagement: The role of perceived supervisor support and moderated mediation effect. *Korean Journal of Business Administration*, 34(1), 169-196.

[5] Callanan, G. A., & Greenhaus, J. H. (1990). The career indecision of managers and professionals: Development of a scale and test of a model. *Journal of Vocational Behavior*, 37(1), 79-103.

[6] Xun Jiang, Ahn Seong Ik, Kim Seong Yong. (2021). The Impact of Problem Solving Style on Innovative Behavior - Focused on Moderating Effects of Core Self-Evaluation and Perceived Supervisory Support -. *Journal of Human Resource Management Research*, 28(1), 57-78.

[7] Kahn, W. A. (1990). Psychological Conditions of Personal Engagement and Disengagement at Work. *Academy of Management Journal*, 33, 692-724

[8] Y. K. Chu. (2021). The Impact of Experienced Customer Incivility on Job Engagement and Innovative Behavior in Hotel Employees: The Mediating Effect of Job Engagement. *Tourism Research*, 46(1), 525-543.

[9] Rich, B. L., Lepine, J. A., & Crawford, E. R. (2010). Job Engagement: Antecedents and Effect

- on Job Performance, *Academy of Management Journal*, 617-635.
- [10] Kottke, J. L., & Sharafinski, C. E. (1988). Measuring perceived supervisory and organizational support. *Educational and Psychological Measurement*, 48(4), 1075-1079.
- [11] Orris, J. B., & Graen, G. B., & Johnson, T. W. (1973). Role assimilation processes in a complex organization. *Journal of Vocational Behavior*, 3(4), 395-420.
- [12] Bakker, A. B., & Demerouti, E. (2008). Towards a Model of Work Engagement, *Career Development International*, 13(3), 209-223.
- [13] Janssen, O. (2000). 'Job demands, perceptions of effort reward fairness and innovative work behaviour,' *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 73(3), 287-302.
- [14] Farr, J. L., & Ford, C. M. (1990). Individual innovation. In M. A. West & J. L. Farr (Eds.), *Innovation and creativity at work: Psychological and organizational strategies* (pp. 63-80). Oxford, UK: John Wiley & Sons.
- [15] Baumeister, R. F. (1986). Choking under pressure: Self-conscious and paradoxical effects of incentives on skillful performance[J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 46(3): 610-620.
- [16] Lazarus, R. S. (2000). How emotions influence performance in competitive sports[J]. *Sport Psychologist*, 14(3):229-252.
- [17] Eisenberger, R., & Aselage, J. (2009). Incremental Effects of Reward on Experienced Performance Pressure: Positive Outcomes for Intrinsic Interest and Creativity[J]. *Journal of Organizational Behavior*, 30(1):95-117.
- [18] Saks, A. M. (2006). Antecedents and consequences of employee engagement. *Journal of Managerial Psychology*, 21, 600-619.
- [19] Dabke, D., & Patole, S. (2014). Predicting employee engagement: Role of perceived organizational support and supervisor support. *Tactful Management Research Journal*, 3, 1-8.
- [20] Hakanen, J. J., & Perhoniemi, R., & Toppinen, T. S. (2008). Positive gain spirals at work: from job resources to work engagement, personal initiative and work-unit innovativeness, *Journal of Vocational Behavior*, 73(1), 78-91.
- [21] Park, Y. K., & Song, J. H., & Yoon, S. W., & Kim, J. (2014). Learning organization and innovative behavior: The mediating effect of work engagement. *European Journal of Training and Development*, 38(1/2), 75-94.
- [22] Kwon, K., & Kim, T. (2020). An integrative literature review of employee engagement and innovative behavior: Revisiting the JD-R model. *Human Resource Management Review*, 30(2), 100704.
- [23] E. S. Baek., & H. R. Kim. (2021). The Effects of Emotional Leadership on Innovative Behavior in Public Organizations -The Mediating Effect of Job Engagement-. *Journal of Digital Convergence*, 19(11), 201 -213.
DOI : 10.14400/JDC.2021.19.11.201
- [24] Y. H. Cho, & G. W. Yu. (2020). The Perceived Family-Friendly Organizational Support and Supervisor's Support on Innovative Behavior - The Work Engagement as A Mediator -. *Journal of Human Resource Management Research*, 27(3), 59-77.
- [25] Y. J. Kim (2016). *The impact of the quality of leader-member exchange of coffee shop employees on perceived supervisory support and individual behavior* [Master's thesis, Kyonggi University].
- [26] K. W. Min. (2016). *A study of the relationship between diversity climate and innovative behavior : the mediating role of employee engagement and career prospects* [Doctoral dissertation, Chung-Ang University].
- [27] W. J. Park. (2020). *A study on the impact of individual characteristics of exclusive personnel in the national human resource development*

consortium on innovative behavior [Doctoral dissertation, Yeungnam University].

[28] S. J. Ju. (2020). Impact of performance stress on work vitality and innovative behavior of employees [D] Nanjing Financial University.

친루이(Rui Qin)

[정회원]



·2020년 9월 : 호남대학교 경영학과 (경영학사)
·2022년 9월 ~ 2024년 8월 : 호남대학교 경영학과 석사졸업
·2024년 9월 ~ 현재 : 호남대학교 경영학과 박사과정

· 관심분야 : 인사관리, 조직행동
· E-Mail : qinrui1049@163.com

진춘화(Chun-Hua Jin)

[정회원]



·2006년 3월 : 일본 고마자와대학교 경영학사
·2008년 3월 : 일본 고마자와대학교 경영학 석사
·2008년 4월 ~2016년 3월 : 일본 무사시노가쿠인대학교 국제커뮤니케이션학부 전임강사

· 2019년 8월 : 호남대학교 경영학 박사
· 2016년 4월~현재 : 호남대학교 경영학부 조교수
· 관심분야 : 인사관리, 조직행동
· E-Mail : Chunhua517@honam.ac.kr

뤼양(Yang Lyu)

[정회원]



·2019년 7월 : 북경성시대학교 경영학사
·2022년 2월 : 호남대학교 경영학 석사
·2022년 3월 ~ 2024년 8월 : 호남대학교 경영학과 박사졸업

· 관심분야 : 조직행동, 인사관리
· E-Mail : lyuyang623@gmail.com

AESA 레이더 시스템: 최신 발전, 경제적 영향 및 미래 전망

오희망¹, 박홍석^{2*}

¹국립금오공과대학교 전자공학부 학생, ²국립금오공과대학교 산학협력단 교수

AESA Radar Systems: Recent Developments, Economic Impact, and Future Prospects

Huimang Oh¹, Hongsuk Park^{2*}

¹Student, Dept. of Electrical Engineering, Kumoh National Institute of Technology

²Professor, Industry-Academic Cooperation Foundation, Kumoh National Institute of Technology

요약 본 연구는 AESA(능동형 전자주사 배열) 레이더 기술의 주요 특징과 발전 동향을 종합적으로 분석하여, 군사 및 민간 분야에서의 적용 가능성을 평가하고 이를 통해 AESA 레이더가 기존 레이더 기술에 비해 가지는 우수성과, 그 경제적 및 기술적 영향을 제시하였다. 문헌 분석을 통해 AESA 레이더의 기술적 원리와 T/R 모듈의 구성, 다양한 플랫폼에서의 적용 사례를 조사하였고 분석 결과, AESA 레이더는 기존 레이더에 비해 뛰어난 탐지 및 추적 성능, 전자전 대응 능력, 확장성을 지니며, 전투기, 함정, 지상 방어 시스템 등에서 효과적으로 활용될 수 있음을 확인했다. 또한 민간 분야에서도 기상 관측, 교통 관리, 재난 대응 등에서 유용하게 사용할 수 있는 가능성을 식별하였다. 본 연구는 AESA 레이더 기술의 경제적 중요성과 향후 발전 방향을 제시하며, AI와 머신러닝의 통합, 초고주파 영역 확장, 신뢰성 향상을 향후 연구 과제로 제안하였다.

키워드 : AESA 레이더, 기술건설, 전자전, 군사기술, 경영건설, 민간응용, 레이더 시스템

Abstract This study analyzes the concepts, characteristics, and development trends of AESA (Active Electronically Scanned Array) radar and explores its potential applications in military and civilian fields. The research method involves a literature review to examine the technical principles of AESA radar, the composition of T/R modules, and application cases across various platforms. The analysis shows that AESA radar possesses superior detection and tracking performance, electronic warfare capabilities, and scalability compared to traditional radar. It can be effectively utilized in aircraft, naval ships, and ground defense systems. In civilian fields, it is useful for weather observation, traffic management, and disaster response. This study also highlights the economic significance of AESA radar technology and suggests future development directions, including the integration of AI and machine learning, expansion into the Terahertz frequency range, and improvements in reliability. Such technological advancements will contribute to national security and industrial competitiveness.

Key Words : AESA radar, electronic warfare, military technology, civilian applications, radar systems

*Corresponding Author : Hongsuk Park(avipak@kumoh.ac.kr)

Received August 12, 2024

Accepted September 24, 2024

Revised September 4, 2024

Published September 28, 2024

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 필요성

현대 군사 작전에서 레이더 기술은 적의 위치를 탐지하고, 추적하며, 나아가 신속한 대응을 가능하게 하는 데 있어 필수적인 기술이다. 레이더는 적의 항공기, 미사일, 지상 목표를 실시간으로 탐지하고 그 정보를 제공함으로써 군사적 의사 결정을 지원한다. 특히, 공중전 및 해상 작전에서 레이더 시스템의 중요성은 더욱 부각되며, 이를 통해 각종 위협에 대한 대응이 즉각적으로 이루어질 수 있다. 그러나 기존의 기계식 주사 레이더 기술은 제한된 탐지 거리와 더불어 다중 목표를 동시에 추적하는 데 비효율적이라는 한계를 지니고 있다. 이러한 단점은 전자전(EW) 환경에서 적의 레이더 방해 신호에 쉽게 영향을 받기 때문에, 전술적 우위를 확보하는 데 어려움을 초래할 수 있다.

AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더 기술은 이러한 기존 레이더 시스템의 기술적 한계를 극복하고자 개발된 혁신적인 기술이다. AESA 레이더는 전파를 전자적으로 제어하여 빔 형성을 매우 빠르게 조정할 수 있으며, 기계적인 이동 없이도 신속한 방향 전환이 가능하다. 이는 기존 레이더보다 훨씬 빠른 응답 시간을 제공하며, 전자전 환경에서도 매우 높은 성능을 발휘할 수 있는 기술적 우수성을 지닌다. 또한, 다중 목표를 동시에 추적하고, 넓은 탐지 범위를 통해 다양한 전술적 상황에 대응할 수 있다는 점에서 군사 작전의 성공 가능성을 크게 높여준다. AESA 레이더의 이러한 기술적 이점은 특히 5세대 전투기(F-22, F-35 등), 해상 방어 시스템, 지상 방어 시스템 등 다양한 군사 플랫폼에서 적극적으로 채택되고 있다.

AESA 기술은 군사적 활용뿐만 아니라 민간 분야에서도 큰 잠재력을 가지고 있다. 기상 관측, 교통 관리, 재난 대응 등의 분야에서 AESA 레이더의 고성능 탐지 능력은 매우 유용하게 사용될 수 있다. 기존의 기계식 레이더는 이러한 민간 응용에서 탐지 범위와 정확성 면에서 제한이 있었지만, AESA 레이더의 빠르고 정밀한 신호 처리는 보다 복잡한 환경에서의 활용 가능성을 열어준다. 따라서 AESA 레이더는 군사적, 민간적 측면에서 모두 중요한 기술적 돌파구로 평가되고 있으며, 그 필요성은 점점 더 커지고 있다.

1.2 연구의 목적

본 연구는 AESA 레이더 기술의 개념 및 주요 기술적 특징을 체계적으로 분석하고, 이를 바탕으로 군사 및 민간 분야에서의 활용 가능성을 탐구하는 것을 목적으로 한다. AESA 레이더의 기술적 원리와 발전 과정을 이해하고, 이를 기존 레이더 시스템과 비교함으로써 AESA 기술의 우수성을 구체적으로 규명할 것이다. 또한, AESA 레이더가 군사 및 민간 응용 분야에서 가지는 경제적 중요성을 평가하고, 향후 기술 발전 방향을 제시하는 데 중점을 둔다. 특히 인공지능(AI)과 머신러닝(ML) 기술의 융합, 초고주파(THz) 대역으로의 확장과 같은 최신 기술 동향을 기반으로 AESA 레이더의 향후 발전 가능성을 논의할 것이다.

1.3 연구 방법

본 연구는 문헌 조사와 사례 분석을 통한 종합적인 방법론을 사용한다. 먼저 AESA 레이더 기술의 이론적 배경과 기술적 특징을 기존 문헌을 바탕으로 분석하고, 이를 통해 기술적 원리와 발전 동향을 파악한다. 그 후, AESA 레이더가 실제로 적용된 군사 및 민간 분야의 사례들을 조사하고, 이러한 사례들을 바탕으로 AESA 기술의 실제 성능과 효과를 평가한다. 또한, 최신 기술 동향과 미래 전망을 분석하여 향후 AESA 레이더가 나아갈 방향을 제시한다. 이 과정에서 AI 및 머신러닝 기술의 통합, 초고주파 영역에서의 작전 능력 확장, 그리고 T/R 모듈의 패키징 기술 발전 등 다양한 신기술의 적용 가능성을 논의할 것이다.

1.4 연구의 필요성 및 기대 효과

AESA 레이더 기술은 기존 레이더 기술의 한계를 극복할 수 있는 혁신적인 솔루션으로, 특히 군사 분야에서 전술적 우위를 확보하는 데 필수적이다. 따라서 AESA 레이더의 기술적 이해와 그 경제적 가치를 명확히 제시하는 것은 방위 산업뿐만 아니라 민간 분야에서도 중요한 의미를 가진다.

본 연구는 AESA 레이더의 기술적 우수성을 체계적으로 분석하고, 그 잠재적 응용 분야를 제시함으로써 해당 기술의 발전에 기여하고자 한다.

2. 관련 연구

본 연구는 기존 레이더 시스템이 실제 전장 환경에서 직면하는 탐지 거리 제한, 다중 목표 추적의 비효율성, 전자전 대응의 한계와 같은 문제들이 현대 군사 작전의 성공률을 저해하는 주요 원인 중 하나임을 인식하고, 이러한 문제들을 AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더 기술을 통해 어떻게 극복할 수 있는지를 규명하기 위한 목적으로 수행되었다. 본 연구는 "AESA 레이더가 기존의 레이더 시스템보다 전자전 대응 능력과 탐지 성능을 어떻게 향상시킬 수 있는가?"라는 연구 문제를 중심으로 분석을 진행하였다.

이를 위해, 본 연구에서는 AESA 레이더 기술의 군사 및 민간 분야에서의 적용 가능성을 평가하기 위해 다양한 자료 수집과 비교 분석 방법을 사용하였다. 특히, AESA 레이더와 기존 레이더 시스템 간의 성능을 비교하기 위해 탐지 거리, 다중 목표 추적 능력, 전자전 대응 능력과 같은 주요 기술적 지표를 IEEE 및 국방 기술 보고서에서 수집하고 종합적으로 분석하였다. 또한, 국내외에서 운영 중인 주요 AESA 레이더 시스템의 실제 적용 사례를 분석함으로써, 이러한 기술이 실무적으로 어떻게 활용되고 있는지 평가하였다.

이와 같은 비교 분석을 통해 AESA 레이더가 기존 시스템보다 어떤 면에서 우수한지를 구체적으로 정리하고자 하였다. 이러한 연구 결과는 AESA 레이더 기술이 군사 및 민간 분야에서 가져올 수 있는 전략적 이점과 향후 기술 발전 방향에 대한 중요한 시사점을 제공할 것이다.

3. AESA 레이더 기술 분석

3.1 AESA의 개념 및 특징

AESA 레이더는 기존 레이더 기술의 한계를 뛰어넘는 혁신적인 기술로, 군사 및 민간 분야에서 다양한 활용 가능성을 지니고 있다. AESA 레이더는 수백, 수천 개의 작은 T/R(Transmitter/Receiver) 모듈로 구성된 안테나 어레이를 사용하여 전파를 송수신하며, 디지털 신호 처리 기술을 통해 빔 형성, 탐지, 추적 등을 수행한다. 이는 기존 레이더보다 훨씬 뛰어난 성능을 제공하며, 다음과 같은 주요 특징을 가지고 있다[5]

3.1.1 뛰어난 탐지 및 추적 성능

3.1.1.1 넓은 탐지 범위

AESA 레이더는 다수의 T/R 모듈을 사용하여 넓은 범위를 탐지할 수 있다. 예를 들어, F-22 랩터에 장착된 AN/APG-77 AESA 레이더는 기존 레이더보다 훨씬 넓은 탐지 범위를 제공하여, 더 먼 거리에서 적의 항공기를 탐지하고 효과적으로 대응할 수 있다.

3.1.1.2 동시 다중 목표 추적

AESA 레이더는 동시에 여러 개의 목표를 추적할 수 있다. 기존 레이더는 한 번에 하나의 목표만 추적할 수 있었지만, AESA 레이더는 여러 개의 목표를 동시에 추적하여 공격 우선순위를 설정하고 효과적인 공격을 수행할 수 있다. 예를 들어, F-35 라이트닝 II의 AN/APG-81 레이더는 다중 목표를 동시에 추적하여 전술적 우위를 확보한다.

3.1.1.3 정확한 목표 식별

디지털 신호 처리 기술을 통해 목표의 특징을 정확하게 파악하고 구분할 수 있다. 적군과 민간 항공기, 미사일 등을 정확하게 구분하여 오인 공격을 방지하고 효과적인 공격을 수행할 수 있다. 이는 공중 충돌을 방지하고, 적의 미사일 공격을 신속하게 탐지하는 데 필수적이다.

3.1.2 강력한 전자전 대응 능력 [6]

3.1.2.1 임의의 방향 및 주파수 송수신

AESA 레이더는 임의의 방향과 주파수로 전파를 송수신할 수 있다. 예를 들어, AESA 레이더는 적의 레이더 시스템을 혼란시켜 전자전 환경에서도 우위를 점할 수 있다. 이는 특히 전자전에서 적의 레이더 방해를 극복하는 데 유용하다.

3.1.2.2 다양한 빔 형성 기술

다양한 빔 형성 기술을 사용하여 적의 전자 간섭에 효과적으로 대응할 수 있다. 예를 들어, 고출력 빔을 사용하여 상대 레이더를 마비시키고, 동시에 다른 목표물을 탐지할 수 있는 다기능 레이더로 활용된다.

3.1.2.3 고출력 빔 사용

고출력 빔을 사용하여 상대 레이더를 마비시킬 수 있다. 이는 적의 레이더를 무력화하기 위해 사용되며, 실제 전투 상황에서 큰 효과를 발휘할 수 있다.

3.1.3 뛰어난 확장성

3.1.3.1 T/R 모듈수 조절 가능

필요에 따라 T/R 모듈의 수를 늘려 성능을 향상시킬 수 있다. 예를 들어, 대형 함정에서는 더 많은 T/R 모듈을 사용하여 탐지 범위와 추적 능력을 극대화할 수 있다.

3.1.3.2 다양한 플랫폼 적용 가능

AESA 레이더는 다양한 플랫폼에 적용할 수 있다. 전투기, 함정, 지상 레이더 시스템 등 다양한 플랫폼에 적용하여 다양한 임무를 수행할 수 있다. 예를 들어, KF-21 전투기와 같은 최신 항공기뿐만 아니라 지상 방어 시스템에도 쉽게 통합될 수 있다.

이 연구에서 다루는 AESA 레이더의 주요 특징들은 현대 군사 작전에서 직면하는 여러 실무적 문제를 해결하는 데 필수적이다. 예를 들어, 넓은 탐지 범위와 동시 다중 목표 추적 능력은 대규모 공중전에서 전략적 우위를 제공하며, 전자전 대응 능력은 적의 방해를 극복하고 성공적인 작전을 보장한다. 이러한 특징들은 AESA 레이더가 기존 시스템보다 우수한 성능을 제공하는 근거가 된다.

AESA 레이더는 이러한 뛰어난 성능과 특징을 통해 기존 레이더보다 훨씬 뛰어난 성능을 제공하며, 군사 및 민간 분야에서 다양한 활용 가능성을 지닌 혁신적인 기술이다. AESA 레이더는 기존 기계식 레이더와 달리, 전자적으로 빔을 제어할 수 있어 훨씬 빠르고 정확한 탐지 및 추적이 가능하다. 이 기술적 우수성은 적응형 전자 공격에 대한 대응 능력에서 기존 시스템과 큰 차이를 보인다. 예를 들어, AESA 레이더는 단일 목표뿐만 아니라 동시에 여러 목표에 대해 동시 대응이 가능하며, 전자전 환경에서의 생존 가능성이 크게 향상된다.

3.2 AESA 작동 원리

AESA 레이더는 다음과 같은 단계로 작동한다.

3.2.1 T/R 모듈을 사용한 전파 생성

AESA 레이더는 수천 개의 T/R(Transmitter/Receiver) 모듈을 사용하여 각각 디지털 신호를 기반으로 전파를 생성한다. 각 T/R 모듈은 전파를 독립적으로 생성하고 제어할 수 있어, 다양한 방향으로 동시에 여러 신호를 송출할 수 있다. 이는 기존 기계식 레이더와 달리, 매우 빠르고 유연한 빔 제어가 가능하게 한다.

3.2.2 디지털 신호 처리 장치를 통한 빔 형성

디지털 신호 처리 장치는 각 T/R 모듈에서 생성된 전파 신호를 조합하여 원하는 방향으로 빔을 형성한다. 이 과정에서 빔의 강도와 방향을 정밀하게 제어할 수 있으며, 필요에 따라 빔을 신속하게 전환할 수 있다. 이에 따라 다중 목표 추적 및 전자전 대응 능력이 크게 향상된다.

3.2.3 안테나 어레이를 통한 전파 송신

형성된 빔은 안테나 어레이를 통해 송신된다. 이 빔은 매우 좁은 각도로 집중되며, 장거리에서의 목표 탐지 및 추적에 최적화되어 있다. 송신된 전파는 목표에 도달한 후, 반사되어 돌아온다.

3.2.4 목표로부터 반사된 전파 수신

송신된 전파는 목표로 반사되어 돌아오며, 안테나 어레이는 이러한 반사된 전파를 수신한다. 이 과정에서 각 T/R 모듈은 반사된 신호를 개별적으로 수신하고, 수신된 데이터를 디지털 신호 처리 장치로 전달한다.

3.2.5 수신된 전파 신호 분석

디지털 신호 처리 장치는 수신된 전파 신호를 분석하여 목표의 위치, 속도, 방향 등을 추정한다. 이 단계에서 신호의 시간 차이와 주파수 변화를 분석하여 매우 정밀한 목표 정보를 산출할 수 있으며, 다수의 목표물에 대한 데이터를 동시에 처리할 수 있다.

3.2.6 목표 정보 표시 및 제어

추정된 목표 정보는 조종사나 운영자에게 실시간으로 표시되며, 레이더 시스템은 이를 바탕으로 목표 추적, 무기 발사 등의 제어를 수행한다. 예를 들어, 조종사는 이러한 정보를 바탕으로 적절한 전술적 결정을 내릴 수 있으며, 시스템은 자동으로 최적의 무기 발사 타이밍을 계산하여 제공한다.

이러한 작동 원리를 통해 AESA 레이더는 기존 레이더 시스템에 비해 훨씬 빠르고 정밀한 탐지 및 추적 기능을 제공하며, 다양한 군사 작전 환경에서 높은 효율성을 발휘할 수 있다.

3.3 T/R 모듈

본 장에서는 AESA 레이더 시스템의 핵심 구성 요소인 T/R 모듈에 대한 기술적 자료를 수집하기 위해,

최신 논문, 기술 보고서, 관련 특허 자료를 활용하였다. 수집된 자료는 다음과 같은 기준에 따라 분석되었다.

3.3.1 모듈의 역할 및 구성 요소

T/R 모듈은 AESA 레이더 시스템의 필수적인 구성 요소로서, 전파의 송수신 및 신호 처리를 담당한다. 이를 통해 레이더 시스템은 목표를 탐지하고 추적하는 핵심 기능을 수행할 수 있다. T/R 모듈의 주요 역할과 특징은 다음과 같다.

3.3.1.1 전파 생성 및 송신

T/R 모듈은 전파를 생성하여 안테나를 통해 외부 환경으로 송신한다. 이를 통해 레이더 시스템은 목표 탐지 및 추적의 첫 단계를 시작할 수 있다.

3.3.1.2 수신 및 신호 처리

T/R 모듈은 외부 환경에서 반사된 전파를 수신하고 이를 신호 처리하여 목표의 위치, 속도, 방향 등을 분석한다. 이 과정에서 신호의 정확성을 높이기 위해 저잡음 증폭기(LNA)와 같은 요소가 사용된다.

3.3.1.3 다중 기능 및 유연성

T/R 모듈은 송수신, 신호 처리, 보호 기능 등 다양한 작업을 통합하여 실시간으로 여러 임무를 수행할 수 있는 높은 유연성을 제공한다. 이에 따라 레이더 시스템은 다양한 작전 요구에 효과적으로 대응할 수 있다. T/R 모듈은 AESA 레이더의 성능을 결정짓는 중요한 구성 요소이며, 각각의 구성 요소는 특정 기능을 수행하여 시스템의 전반적인 성능을 향상시킨다. 아래 Fig. 1은 T/R 모듈의 주요 구성 요소를 시각적으로 나타낸 것이다.

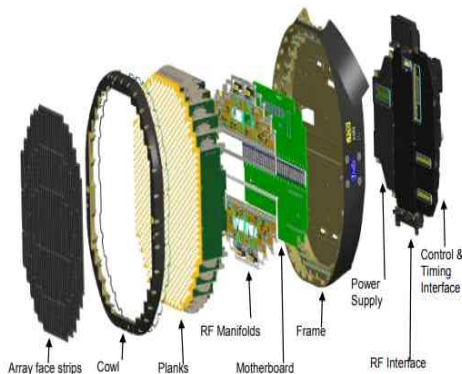


Fig. 1. Airborne AESA configuration [7].

3.3.2 T/R 모듈의 구성 요소 상세 분석

3.3.2.1 RF 송수신기(RF Transceiver)

Tile 송수신기(Tile Transceiver)에서 각 Tile은 송수신 기능을 수행하며, Circulator, HPA, LNA, SW, Protection으로 구성된다. Circulator는 송신 신호와 수신 신호를 분리하여 간섭을 최소화하며 HPA(High-Power Amplifier)는 송신 신호를 고출력으로 증폭하여 송신 거리를 늘린다. LNA(Low Noise Amplifier)는 수신 신호를 저잡음으로 증폭하여 신호 품질을 개선하며 SW(Switch)는 송신과 수신 경로를 전환하여 효율적인 신호 처리를 지원한다. 또한, Protection은 과전류, 과전압 등으로부터 회로를 보호하는 역할을 담당하며 전원 분배 회로(Board)는 전원 분배기, 충전 커패시터, 전원 스위칭으로 구성되어 있다. 전원 분배기(Power Divider)는 전력을 여러 경로로 분배하여 각 구성 요소에 안정적으로 전원을 공급하고 충전 커패시터(Charging Capacitor)는 전압 변동을 완화하고 안정적인 전원 공급을 유지한다. 전원 스위칭(Power Switching)는 필요한 경우 전원을 전환하여 회로를 효율적으로 관리하는 역할을 수행한다.

3.3.2.2 디지털 송수신기 (Digital Transceiver)

DADC(Digital-to-Analog/Digital Converter)는 AD936x를 사용하여 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환하거나 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환한다. AD936x는 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환하거나 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 신호 처리가 가능하게 하며 TX (Transmitter) / RX (Receiver)는 송신 및 수신 신호의 변환을 담당한다. TRMC (Transceiver Management Controller)는 Kintex7 FPGA를 사용하여 송수신 신호를 관리하고 제어하는 역할을 담당하고 Kintex7 FPGA는 고속 신호 처리와 복잡한 신호 처리를 수행하여, 송수신 신호의 실시간 처리와 제어를 담당한다.

3.3.2.3 TRGC (Transceiver General Controller)

Blind-mate D-SUB에서 다양한 신호를 연결하고 인터페이스를 제공하고 BMA는 고주파 신호를 처리하는 커넥터이다. Kintex7은 FPGA 기반의 신호 처리 장치로, 전체 시스템의 제어를 담당한다.

3.3.3 T/R 모듈의 최신 발전 동향과 전망

3.3.3.1 멀티모드 및 멀티파향 기능

T/R 모듈은 최근 들어 멀티모드 및 멀티파향 기능을 통해 다양한 작전 요구에 대응할 수 있게 발전해 왔다. 이러한 기능들은 다양한 임무를 수행할 때 더 유연하고 효율적으로 작동하게 한다.

3.3.3.2 보안 및 방어 기능

향후에는 AESA T/R 모듈에 더 강력한 보안 및 방어 기능이 통합될 것으로 예상되며, 이는 사이버 공격에 대한 효과적인 방어를 가능하게 할 것이다.

3.3.3.3 패키징 기술의 발전

T/R 모듈의 크기와 무게를 줄이면서도 성능을 향상하기 위해 LTCC(저온 동시 소성 세라믹), HTCC(고온 동시 소성 세라믹), PCB(비용 절감에 유리)와 같은 고급 패키징 기술이 개발되고 있다. 이러한 패키징 기술의 발전은 더 컴팩트한 설계를 가능하게 하며, 신속한 전환과 유연한 배치를 통해 시스템 설계자들이 다양한 요구 사항에 대응할 수 있도록 도와준다.

3.3.3.4 초고주파 전자기(THz) 영역으로의 확장

향후 T/R 모듈의 발전은 초고주파 전자기(THz) 영역으로의 확장을 통해 더 넓은 주파수 대역에서의 작전 능력을 향상시킬 것이다. 이는 미래의 전투기 및 무인 항공기의 성능을 크게 증대시킬 것으로 기대된다.

3.3.3.5 신뢰성 및 내구성 강화

또한, T/R 모듈의 신뢰성 및 내구성 역시 중요한 발전 분야로, 더욱 강력한 방사선 내성과 진동 내성을 갖춘 T/R 모듈이 군사 작전에서의 신뢰성을 높이고, 수명을 연장시킬 것이다. 이러한 발전은 유지보수 및 운용 비용을 감소시키며, 군사 기술의 장기적인 안전성을 보장하는 데 큰 기여를 할 것으로 기대된다

4. 평가 및 분석

4.1 AESA 장점, 단점 및 개선 방안

Table 1에 따르면, AESA의 주요 장점으로는 초고 해상도와 빠른 탐지 능력이 포함되며, 단점으로는 높은 비용, 기술적 요구 사항, 높은 전력 소비가 있다.

이러한 단점에 대한 개선 방안은 Table 1에서 제시

된 바와 같고 AESA의 단점을 해결하기 위해 국제적 협력이 강화되고 있으며, 국내에서도 AESA 레이더 기술의 자체 개발과 생산을 목표로 연구가 진행 중이다.

Table 1. AESA Advantages, Disadvantages, and Improvement Measures.

카테고리	장점	단점	개선방안
탐지 및 추적 성능	<ol style="list-style-type: none"> 넓은 탐지 범위 (기존 레이더 대비 2~3배 이상) 동시 다중 표적 추적 (최대 수십 개의 표적) 정확한 표적 식별 (적, 민항기, 미사일 구분 가능) 	<ol style="list-style-type: none"> 고비용 (T/R 모듈 제작비, 시스템 구축비) 높은 전력 소모량 (T/R 모듈 작동, 디지털 신호 처리) 	<ol style="list-style-type: none"> 저가형 T/R 모듈 개발 에너지 효율적인 디지털 신호 처리 기술 개발
전자전 능력	<ol style="list-style-type: none"> 입의 방향과 주파수에 대한 변속기 및 수신은 적외선 (전자전 대응) 다양한 빔 형성 기법 (레이더 성능 유지) 고압 빔 사용 (적외선 레이더) 	<ol style="list-style-type: none"> 복잡한 시스템 구성 (빔 포밍 알고리즘, 전자전 대책) 높은 기술 요구 사항 (전자 공격 기술, 레이더 신호 처리 기술) 	<ol style="list-style-type: none"> 단순 빔 포밍 알고리즘 개발 표준화된 전자전 대책체계 구축 속련 인력 양성 및 기술 교육 강화
확장성	<ol style="list-style-type: none"> 조정 가능한 T/R 모듈 수 (임무 요구 사항에 따른 성능 조정) 다양한 플랫폼 (전투기, 해군 함정, 지상 레이더 등)에 적용 가능 	<ol style="list-style-type: none"> 시스템 설계 및 운영의 복잡성 증가 (다양한 플랫폼 고려) T/R 모듈 호환성 문제 (제품 사용 시 제조업체가 다름) 	<ol style="list-style-type: none"> 모듈형 시스템 설계 및 생산 기술 개발 T/R 모듈의 표준화 및 호환성 보장
Others	<ol style="list-style-type: none"> 빠른 빔 스티어링 속도 (적 움직임에 대한 신속한 대응 가능) 고해상도 (대상의 작은 특징을 식별할 수 있음) 	<ol style="list-style-type: none"> 부피 및 무게 증가 (T/R 모듈 및 디지털 신호 처리 장치) 높은 개발 및 생산 비용 	<ol style="list-style-type: none"> 소형화 및 경량화 기술 개발 비용 효율적인 소재 및 공정 도입

4.2 AESA 레이더 응용 분야 개관

4.2.1 군사 분야

4.2.1.1 전투기

F-22 랩터, F-35 라이트닝 II, 유로파이터 타이푼 등 AESA 레이더는 전투기에서 공중 우세를 유지하고 적의 항공기와 미사일을 탐지, 추적 및 무력화하는 데 중요한 역할을 한다. 높은 스텔스 성능과 다중 목표 추적 능력을 통해 전투기들은 다양한 전술적 상황에서 유연하게 대응할 수 있다.

4.2.1.2 함정

구축함, 항공모함 등 해상 작전에서 AESA 레이더는 적의 함선과 공중 목표를 탐지하고, 전자전에서 우위를 점하기 위해 사용된다. 다양한 전자전 기능과 고해상도 탐지 능력을 통해 함정은 적의 공격에 효과적으로 대응할 수 있다.

4.2.1.3 지상 방어 시스템

철매-II천궁, TPQ-74K 등 지상 방어 시스템에서 AESA 레이더는 적의 항공기, 미사일 및 기타 위협을 탐지하고 추적하는 데 사용된다. 고해상도 탐지 능력과 다중 목표 추적 능력을 통해 다양한 방어 임무에 유연하게 대응할 수 있다.

4.2.1.4 무인 항공기(UAV)

MQ-9 리퍼, 글로벌 호크 등 무인 항공기에서 AESA 레이더는 장거리 정찰 및 감시 임무를 수행하며, 고해상도 지형 맵핑과 표적 식별을 제공한다. 이를 통해 실시간 정보 수집과 정밀 타격이 가능하다.

4.3 국내외 AESA 기술 적용 무기 체계

4.3.1 국내

Table 2. Domestic Technology Status

Equipment	Picture	Function and Features
Medium-Range Ground-Based interceptor Cheongung-II		Multi-Function Radar

KF-21		Applied AESA Radar for Advanced Fighter Jet (Enabling Precision Targeting and Tracking)
FA-50 (Planned)		Planned Application for Advanced Fighter Jet
SPS-550K		AESA Radar for Incheon/Seoul Area Defense
FPS-303K		AESA Radar for East Coast Long-Range Surveillance
LRS-450		AESA Radar for Long-Range Surveillance, Integrated With FPS-117
TPQ-74K		Counter-Battery Radar

Table 2는 국내 AESA 기술 적용 무기 체계를 보여준다.

철매-II천궁에서는 국내에서 개발된 AESA 레이더 기술을 활용하여 탐지 및 추적 능력을 향상시킨다. 고해상도의 공중 및 지상 탐지 능력으로 다양한 작전 환경에서 효과적 운용이 가능하고, 다중 작전 모드를 지원하여 다양한 임무에 유연하게 대응이 가능하다. 국내개발 전투기인 KF-21에서는 AESA 레이더를 통해 고도의 대기전장 수준의 상황인식 및 전투 관리 능력 보유. 공중전 및 지상-공격 임무에 탁월한 성능을 제공하여 다양한 전술적 상황에서 활약이 가능하다. FA-50 파이팅이글에서는 국산 AESA 레이더를 장착하여 고생 비행 및 낮은 고도에서도 높은 성능 유지가 가능하다. 공중전 및 지상-해상 공격 임무에 효과적으로 활용되며, 다목적 전투기로서의 역할을 수행한다. SPS-550K에는 국내에서 개발된 ASE A 레이더 기술을 적용하여 대형함과 함께 고속이동과 교전

상황에서도 뛰어난 탐지 능력을 제공한다. 다양한 전자전 기능과 함께 다목적 전투 운용이 가능한 함정 무기 시스템으로 활용된다. 해군 무기체계인 FPS-303 K는 국내 해군 함정에 적용되는 AESA 레이더 기술을 통해 대기전 및 해전에서의 탐지 능력을 향상시킨다. 고속이동 중에도 안정적인 성능 유지가 가능하며, 다양한 전투 상황에서 유용하게 활용된다. LRS-450에서는 장거리 탐지 및 추적 능력을 강화하기 위해 국내 개발된 AESA 레이더 기술을 활용한다. 고고도 또는 저고도의 비행체에 대한 정확한 탐지와 추적이 가능하며, 대기전 임무에 특히 효과적으로 활용된다. TPQ-74K는 내에서 개발된 AESA 레이더 기술을 기반으로 한 대전차 포병탐지 레이더 시스템이며, 대전차 포병 탐지 능력을 향상시켜 전술적으로 중요한 임무를 수행한다.

4.3.2 국외

Table 3. International Technology Status

Aircraft	Picture	AESA Radar Model
F-22 Raptor (USA)		AN/APG-77 AESA Radar
F-35 Lightning II (USA)		AN/APG-81 AESA Radar
Eurofighter Typhoon (UK)		CAPTOR-E AESA Radar
Rafale (France)		RBE2 AESA Radar
Su-57 (Russia)		N036 Byelka AESA Radar
Gripen E (Sweden)		PS-05/A MK4 AESA Radar

Table 3은 국외 AESA 기술 적용 무기 체계를 보여준다. 미국의 F-22 랩터는 AN/APG-77 AESA 레이더

를 사용하여 뛰어난 스텔스 성능과 상황 인식 능력을 제공하며, 공중 우세와 다중 목표 추적에서 탁월한 성능을 발휘한다. F-35 라이트닝 II에는 AN/APG-81 AESA 레이더를 사용하여 고해상도 지도 작성, 전자전, 다중 목표 추적 등의 기능을 수행하며, 다양한 전술적 상황에서 유연하게 대응이 가능하다. 유럽의 유로파이터 타이푼에는 CAPTOR-E AESA 레이더를 사용하여 넓은 탐지 범위와 뛰어난 전자전 능력을 제공하며, 공중전 및 지상 공격에서 높은 성능을 발휘한다. 프랑스의 라팔은 RBE2 AESA 레이더를 사용하여 다중 목표 추적과 전자전 능력을 제공하며, 공중 및 지상 임무에서 유연하게 활용된다. 한편, 러시아의 수호이 Su-57은 N036 Byelka AESA 레이더를 사용하여 스텔스 성능과 다중 목표 추적 능력을 강화하며, 다양한 전술 상황에서 효과적으로 작동한다. 스웨덴의 그리펜 E에서는 PS-05/A Mk4 AESA 레이더를 사용하여 넓은 탐지 범위와 뛰어난 전자전 능력을 제공하며, 공중전 및 지상 공격에서 높은 성능을 발휘할 수 있다.

4.4 AESA 레이더 성능 비교

4.4.1 성능 비교 개요

본 연구에서는 세 가지 주요 AESA 레이더 모델인 AN/APG-77, AN/APG-81, RBE2의 성능을 비교하였다. 이 비교는 각 모델의 탐지 거리, 출력 전력 및 빔 형성 능력에 중점을 두었으며, 그래프를 통해 시각적으로 성능 차이를 보여준다.

4.4.2 탐지 거리(Detection Range) 비교

Fig.2의 파란색 막대그래프는 각 레이더 모델의 최대 탐지 거리를 나타낸다. AN/APG-77이 400km로 가장 긴 탐지 거리를 보였고, AN/APG-81은 300km, RBE2는 200km의 탐지 거리를 기록하였다.

4.4.3 출력 전력(Output Power) 비교

출력 전력은 dBW 단위로 측정되었으며, 빨간색 선 그래프가 이를 나타낸다. AN/APG-81이 25dBW로 가장 높은 출력 전력을 보였으며, AN/APG-77은 20dBW, RBE2는 18dBW를 기록하였다.

4.4.4 빔 형성 능력 비교

빔 형성 능력은 % 단위로 측정되었으며, 초록색 점선 그래프가 이를 나타낸다. AN/APG-81이 90%로

가장 뛰어난 빔 형성 능력을 보였으며, AN/APG-77은 85%, RBE2는 80%의 빔 형성 능력을 보였다.

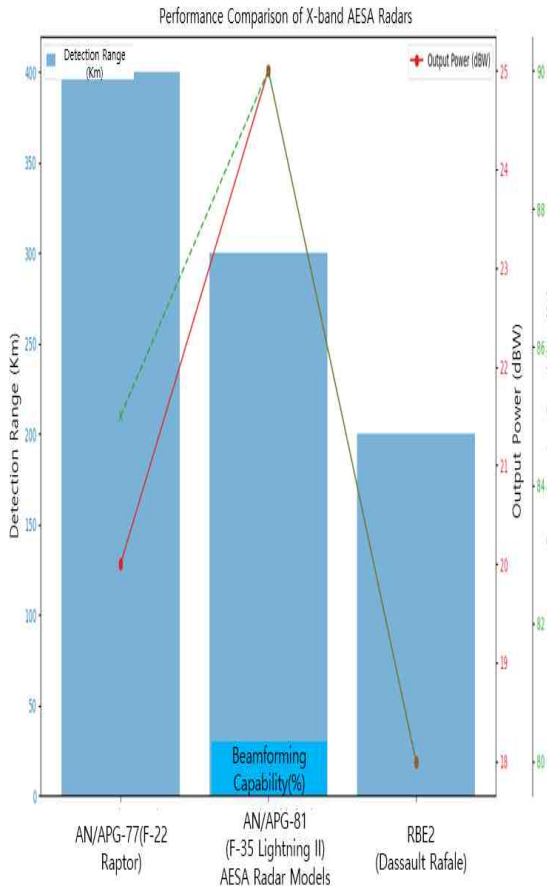


Fig. 2. AESA Performance Comparison

4.4.5 성능 비교 결과 요약

Fig.2 그래프는 각 AESA 레이더 모델의 성능 차이를 명확하게 시각적으로 보여주며, AN/APG-81 모델이 전반적으로 가장 뛰어난 성능을 제공함을 나타낸다. 이와 같은 성능 개선은 최신 기술과 재료(예: GaN 기술)의 도입으로 가능해졌으며, 이는 군사 및 민간 분야에서 AESA 레이더의 활용도를 더욱 높이는 데 기여할 것이다.

4.5 AESA 레이더의 경제적 영향

4.5.1 기술 개발 및 운영 비용

AESA 레이더 기술은 높은 초기 개발 비용을 필요로 한다. 이는 고급 T/R 모듈과 첨단 신호 처리 기술을 포함한 복잡한 하드웨어 구성 때문에 발생한다.

AESA 레이더 시스템의 운영과 유지보수는 기존 레이더에 비해 높은 비용을 초래할 수 있다. 고출력 전력 및 정교한 방열 시스템의 필요성 때문에 유지보수 비용이 증가한다.

4.5.2 경제적 효과

AESA 레이더 기술은 국가 안보를 강화하는 데 중요한 역할을 한다. 군사적 우위를 확보함으로써 국가의 정치적 안정과 경제적 발전에 기여한다. 또한, AESA 레이더 기술을 보유한 국가는 이를 다른 나라에 수출함으로써 경제적 이익을 창출할 수 있다. AESA 레이더 시스템의 수출은 국가 경제에 긍정적인 영향을 미친다.

4.6 AESA 레이더의 미래 전망

4.6.1 기술 발전 방향

인공지능(AI) 및 머신러닝(ML) 기술을 통합하여 AESA 레이더의 신호 처리 능력을 향상시킬 수 있다. 이는 실시간 데이터 분석과 자동 목표 식별을 가능하게 한다. AESA 레이더 기술은 초고주파 영역으로 확장될 것으로 보인다. 이는 더 넓은 주파수 대역에서의 작전 능력을 향상시키고, 정밀 탐지와 추적을 가능하게 한다.

4.6.2 글로벌 경쟁력 강화

AESA 레이더 기술의 표준화를 통해 국제 협력과 기술 교류가 촉진될 것이다. 이는 글로벌 경쟁력을 강화하고, 기술 발전을 가속화할 것이다. 또한, AESA 레이더 기술을 보유한 국가는 이를 통해 국제 시장에서의 경쟁력을 확보할 수 있다. 이는 국가 경제에 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

4.6.3 신뢰성 및 내구성 향상

AESA 레이더의 신뢰성과 내구성을 향상시켜 군사 작전에서의 신뢰성을 높일 것이다. 이는 유지보수 비용을 감소시키고, 시스템의 장기적 안정성을 보장한다. AESA 레이더 시스템은 더욱 강력한 방사선 내성과 진동 내성을 갖추어야 하며 이는 극한 환경에서의 작전 능력을 향상시킬 것이다.

4.6.4 미래 전망

AESA 레이더 기술은 군사 및 민간 분야에서 중요한

역할을 하며, 경제적 영향도 크다. 지속적인 기술 발전과 응용 확장을 통해 AESA 레이더의 미래 전망은 매우 밝다. 이러한 기술은 국가 안보를 강화하고, 새로운 경제적 기회를 창출하며, 관련 산업의 발전을 이끌어낼 것이다.

4.7 연구의 한계 및 제약 사항

본 연구는 AESA 레이더 기술의 발전 동향과 응용 가능성을 종합적으로 분석하였으나, 다음과 같은 한계와 제약 사항이 존재한다.

본 연구는 주로 공개된 문헌과 데이터베이스를 기반으로 분석을 수행하였다. 이에 따라 군사 기밀에 해당하는 AESA 레이더 기술의 세부 사항이나 최신 기술의 특정 측면은 다루지 못하였다. 또한, 연구의 분석 범위는 주로 항공 플랫폼에 적용된 AESA 레이더 기술에 초점을 맞추었다. 해상 및 지상 플랫폼에서의 응용 가능성에 대한 추가 연구가 필요하다.

AESA 레이더 기술은 빠르게 발전하고 있으며, 본 연구에서 다른 기술 동향이 곧 새로운 기술로 대체될 가능성이 있다. 따라서 연구 결과는 특정 시점의 기술 상태를 반영하며, 이후의 기술 발전 상황을 지속적으로 관찰할 필요가 있다.

본 연구에서 사용된 실험 데이터는 일부 시뮬레이션 결과에 기반하고 있으며, 실제 운용 환경에서의 실험적 검증이 부족하다. 이는 결과의 해석에 제한을 줄 수 있으며, 실제 환경에서의 추가 실험이 필요하다.

이러한 한계를 고려하여 연구 결과를 해석할 필요가 있으며, 향후 연구에서는 이러한 한계를 보완하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

5. 결론

본 논문에서는 AESA 레이더 기술의 개념, 역사적 배경, 작동 원리, 응용 분야, 최신 발전 동향, 경제적 영향 및 미래 전망에 대해 심도 있게 다뤘다. AESA 레이더는 기존 레이더 기술의 한계를 극복하고, 다양한 군사 및 민간 응용 분야에서 혁신적인 발전을 이루고 있다.

AESA 레이더의 주요 특징 중 하나는 뛰어난 탐지 및 추적 성능이다. 이는 공중, 해상, 지상 모든 영역에서 다중 목표를 동시 추적하고, 전자전에서 우위를 점할 수 있게 한다. 이를 통해 군사 작전의 성공률을 높이고, 민간 분야에서는 기상 관측, 교통 관리 등 다양

한 분야에서 유용하게 사용되고 있다.

특히, 사례 연구를 통해 F-22 랩터, F-35 라이트닝 II, 유로파이터 타이푼, 라팔, 수호이 Su-57과 같은 최신 전투기에서 AESA 레이더가 실제로 사용된 예를 살펴보았다. 이러한 사례들은 AESA 레이더의 실용성과 효과를 입증하며, 기술의 발전과 응용 가능성을 더욱 강조한다.

경제적 측면에서도 AESA 레이더 기술은 큰 영향을 미친다. 초기 개발 비용과 운영 비용이 많이 들지만, 이를 통해 창출되는 군사적 우위와 민간 응용 분야에서의 경제적 이익은 매우 크다. 또한, 기술 발전과 대량 생산을 통해 비용 절감이 가능해짐에 따라, AESA 레이더의 상용화와 민간 시장 확장이 기대된다.

미래 전망에 있어서, 인공지능(AI)과 머신러닝(ML) 기술의 통합, 초고주파(THz) 영역으로의 확장, 그리고 신뢰성 및 내구성 향상은 AESA 레이더의 성능을 한층 더 높일 것이다. 이는 군사적 우위를 강화하고, 다양한 민간 응용 분야에서의 활용을 촉진할 것이다.

AESA 레이더 기술은 군사 및 민간 분야에서 중요한 역할을 수행하며, 지속적인 기술 발전과 응용 확장을 통해 미래에도 그 중요성이 커질 것이다. 이러한 기술은 국가 안보를 강화하고, 경제적 기회를 창출하며, 관련 산업의 발전을 이끌어낼 것이다. AESA 레이더 기술에 대한 지속적인 연구와 투자는 필수적이다.

또한, 본 연구에서는 AN/APG-77, AN/APG-81, RBE2와 같은 주요 AESA 레이더 모델의 성능을 비교 분석하였다. AN/APG-81 모델이 탐지 거리, 출력 전력 및 빔 형성 능력에서 가장 뛰어난 성능을 보였다. 이러한 성능 비교는 AESA 레이더 기술의 발전이 어떻게 이루어졌는지를 명확히 보여주며, 앞으로의 기술 개발 방향을 제시하는 데 유용한 자료가 될 것이다.

이와 같은 성능 비교 결과는 AESA 레이더 기술의 지속적인 발전과 그에 따른 군사 및 민간 응용 분야에서의 활용 가능성을 한층 더 강화할 것이다.

REFERENCES

- [1] Kimura, M., Tarui, Y., Shibata, H., Kuwata, E., Kamioka, J., Nagamine, T., Abe, S., Miyawaki, K., Saito, T., Kamo, Y., & Muroi, K. (2021). An X-band high power tile-type GaN TR

- module for low-profile AESA. 2021 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), 1-4. DOI: 10.1109/IMS19712.2021.9574995
- [2] Mancuso, Y., & Renard, C. (2014). New developments and trends for active antennas and TR modules. 2014 International Radar Conference, 1-3. DOI: 10.1109/RADAR.2014.7060384
- [3] Oppermann, M., & Rieger, R. (2018). Multifunctional MMICs: Key enabler for future AESA panel arrays. 2018 IEEE 21st Nordic Conference on Microelectronics Packaging (NordPac), 1-4. DOI: 10.23919/NORDPAC.2018.8423857
- [4] Temir, K., & Bal, A. R. (2022). Constraints of designing PCB technology-based tile-type TR core modules for scalable X-band AESA architectures. 2022 IEEE 6th International Workshop on Phased Array Systems & Technology (PAST), 1-3. DOI: 10.1109/PAST49659.2022.9975080
- [5] Moore, S. (2009). UK airborne AESA radar research. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1-7. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=5438373>
- [6] Lacomme, P. (2003). New trends in airborne phased array radars. 2003 IEEE Phased Array Systems and Technology Symposium, 1-6. DOI: 10.1109/PAST.2003.1256950
- [7] Farina, A., Holbourn, P., Kinghorn, T., & Timmoneri, L. (2013). AESA radar: Pan-domain multi-function capabilities for future systems. 2013 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology, 1-5. DOI: 10.1109/ARRAY.2013.6731792
- [8] Bil, R., & Holpp, W. (2016). Modern phased array radar systems in Germany. 2016 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology, 1-6. DOI: 10.1109/ARRAY.2016.7832544
- [9] Griffiths, H., Cohen, L., Watts, S., Mokole, E., Baker, C., Wicks, M., & Blunt, S. (2015). Radar spectrum engineering and management: Technical and regulatory issues. Proceedings of the IEEE, 103(1), 85-102. DOI: 10.1109/JPROC.2014.2365517
- [10] Moore, S. (n.d.). Review of the state of the art of UK AESA technology and the future challenges faced. UK Ministry of Defence. Retrieved from IEEE Xplore: DOI: 10.1109/RADAR.2008.4720995
- [11] Mancuso, Y., Gremillet, P., & Lacomme, P. (n.d.). T/R-modules technological and technical trends for phased array antennas. THALES Airborne Systems. Retrieved from IEEE Xplore: DOI: 10.1109/EUMC.2005.1610051

오희망(Hui-Mang OH)

[정회원]



· 2019년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교
전자공학부 학사과정

· 관심분야 : 방산R&D, S/W

· E-Mail : dhgmlakd513@kumoh.ac.kr

박홍석(Hongsuk Park)

[정회원]



· 1996년 2월 : 육군사관학교 병기공학 (공학사)

· 2005년 2월 : 서울대학교 기술정책 (공학석사)

· 2011년 7월 : Texas A&M 산업공학 (공학박사)

· 2022년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교
산학협력단 교수

· 관심분야 : 국방정책수립, 방산R&D, 기술컨설팅

· E-Mail : avipak@kumoh.ac.kr

A Study on the Effectiveness of Spinal Heat Massage and Psychological Relaxation Therapy on the Stress and Psychological Stability of Pre-Secondary Physical Education Teachers

신영혜¹, 장홍영^{2*}

¹성결대학교 웰라이프헬스케어연구소 연구원, ²목원대학교 대학혁신본부 교수

척추온열마사지와 심리적 이완 요법에 따른 예비 중등 체육교사의 스트레스와 심리적 안정에 미치는 효과성 분석연구

Young-Hye Shin¹, Hong-Young Jang^{2*}

¹Researcher, Institute of Well-life Healthcare, Sungkyul University

²Professor, University Innovation Headquarters, Mokwon University

Abstract This study aims to examine the effects of spinal column thermal massage relaxation therapy and psychological relaxation therapy on the stress and psychological stability of preliminary physical education teachers through gradual relaxation and cognitive restructuring. To this end, the study's 18 freshmen recipients were assigned to two groups: one 9-person group received spinal column thermal massage treatment, and the other 9-person group underwent a psychological relaxation program. Both treatments were implemented twice daily for five days in a week, with each session lasting 40 minutes. Data were collected with the Global Assessment of Recent Stress Scale (GARS), and the Competitive State Anxiety Inventory-2 (CSAI-2). As the result of this study, the group receiving heat and massage therapy showed a significant decrease in CSAI-2, and the group undergoing psychological relaxation showed a were significant decrease in GARS. Analysis of covariance revealed statistically significant differences in stress and sports competition state anxiety relaxation, indicating that the two treatments were effective yet distinct. Therefore, it is expected that spinal thermal massage and psychological relaxation therapies will have positive effects on stress and psychological stability among pre-secondary physical education teachers.

Key Words : Pre-Secondary Physical Education Teachers, heat&massage device, psychological relaxation, GARS, CSAI-2

요약 본 연구는 예비 중등학교 체육교사의 스트레스 및 심리적 안정에 척추온열마사지 이완 요법과 점진적 이완 및 인지 재구성을 통한 심리적 이완 요법이 효과가 있는지 검증하는데 목적이 있다. 이를 위해 연구 참여자 18명 중 9명은 척추온열마사지기 적용, 9명은 심리적 이완 요법 처치로 주 5일, 1일 2회씩 1주간 실시하였고, 그룹별 적용 시간은 회기당 40분으로 적용하였다. 자료의 수집은 스트레스평가척도(Global Assessment of Recent Stress Scale; GARS), 스포츠경쟁상태불안검사(Competitive State Anxiety Inventory-2, CSAI-2)를 적용하였다. 연구 결과, 척추온열마사지 처치 집단에서는 스포츠경쟁상태불안에서 유의하게 감소가 나타났으며, 심리적 이완 요법 처치 집단에서는 스트레스 평가 검사에서 유의한 감소가 나타났다. 공분산 분석을 통해 스트레스 및 스포츠경쟁상태불안 이완에 통계적 유의한 차이에서 두 처치가 상이하게 나타났으나 효과적임을 알 수 있었다. 따라서 예비 중등 체육 교사의 척추온열마사지와 심리적 이완 요법의 처치를 통해 스트레스와 심리적 안정에 긍정적인 효과가 있을 것으로 기대된다.

키워드 : 예비 체육교사, 척추온열마사지기, 심리적 이완 요법, 스트레스 평가 척도, 스포츠경쟁상태불안

*Corresponding Author : Hong-Young Jang(brightong0@mokwon.ac.kr)

1. Introduction

College students who move from adolescence to early adulthood must adapt to college life actively in order to pioneer a new future for themselves. In particular, students in teacher training have a clearly defined career path as secondary school teachers after graduation. From the first year of college, these education majors study teaching theories and take practicum to gain teaching experience while preparing for the teacher certification examination. The students are inevitably under a lot of pressure managing all those requirements[1].

Statistics Korea surveyed how stressed students are from school life in 2018 and it showed 54% of students enrolled in college or higher education suffered from stress related to school life. A survey of university education satisfaction among university students from seven countries showed that Korean students' satisfaction with university education was 2.94 points (5-point scale) and satisfaction with life was 3.18 points (5-point scale), which was the lowest compared with students from China, Japan, India, the United States, Germany, and Brazil[2]. In addition, in order to prevent the spread of COVID-19 and ensure student safety, most universities conducted non-face-to-face lectures and partial practicums complying with social distancing rules as the Ministry of Education require. However, even the downsized practical teaching sessions could not proceed as planned due to concern for infection[3]. Amid these challenges in university education, future secondary school teachers at the college of physical education suffered a lot because the curriculum have high proportion of practical sessions and also many students were unfamiliar with non-face-to-face classes[4]. The problem was compounded by lack of interaction among students at school due to online classes, not having enough time to adjust to college programs leading to unsatisfactory learning outcomes[5].

While experiencing difficulties adapting to school

life with non-face-to-face classes, many students feel disappointed and frustrated because they had the expectation for college life that will prepare them to be a competent physical education teacher and now they feel uncertain about their future career, which all causes stress to them[6]. When stress is chronic and excessive, it negatively affects cognitive and psychophysiological processes such as concentration, attention, energy consumption, exercise efficiency, coordination, and arousal, leading to narrowing of the field of vision and they become insensitive to relevant cues found in physical education classroom situations. Then the physical ability necessary in teaching PE decrease and their muscle tension increases leading to increased risk of injury, and in severe cases, the students have trouble continuing physical exercise[7]. As such, an in-depth study will be meaningful that identifies factors that cause stress to preliminary physical education teachers and examines ways to relieve stress.

Among previous studies on stress, some studies argue that stressful events do not directly affect responses, but that how individuals perceive and interpret stressful events and how they deal with the situation with what abilities and personal resources they have to respond[8,9]. Other studies examine different adaptive results responding to stress as how to deal with stress has a decisive effect on the individual's physical, psychological, and social stability[10,11].

Regarding stress coping methods, there are studies that apply massage as a method to reduce excessive muscle contraction caused by physical tension[12]. Recently, as people prefer non-face-to-face home health care, a study shows that home massagers are effective in relieving anxiety, promoting sleep, expanding blood vessels, promoting blood circulation, stimulating or calming the central nervous system, and relieving muscle tension as well as psychological, reflex, and mechanical effects[13].

Also, among other stress relieving methods, the progressive muscle relaxation is a method that induces a relaxation response using relaxation techniques such as breathing, meditation, muscle relaxation, biofeedback and visualization.

As cognitive restructuring takes place along with progressive relaxation, the progressive muscle relaxation is a training method to help a person replace negative thoughts in situations of anxiety and tension with positive thoughts. It helps to reduce muscle tension, anxiety, stress, sympathetic nervous system activity and cortisol lowering[14], depression[15], chronic pain[16], and leads to positive cognition, performance, and behavioral changes[17].

Therefore, this study aims to examine how to relieve stress and anxiety caused by school maladjustment in an online learning environment and pressure of preparing for a teacher certification exam using massage and progressive muscle relaxation therapy. This study will compare spine thermal massage relaxation therapy using the Ceragem medical device V4(CGM MB-1901) that combines the principles of chiropractic and thermal massage for the spine with psychological relaxation therapy through progressive relaxation and cognitive reconstruction. The comparative analysis will look at the effects of two methods on stress relief and psychological stability of preliminary physical education teachers.

2. Research method

2.1 The subject of the study

The subject of this study was first year students majoring in preliminary physical education teachers who were taking online classes due to Covid-19 at S University located in A city, Gyeonggi-do. The students take the same theory and practical classes and they do not have any special problems with their physical capabilities.

The purpose, the content and procedures of the study were sufficiently explained to them, and written consent expressing intention to voluntarily participate

was obtained. Using a random sampling method, out of 18 students, 9 students were assigned to the spinal thermal massage relaxation therapy and the other 8 students to the psychological relaxation therapy. The physical characteristics of the study subjects are shown in Table 1.

Table 1. Physical characteristics of participants

Variable \ Group	heat and massage device (n=9) M±SD	psychological relaxation(n=9) M±SD
Sex(man / woman)	9 / 0	5 / 4
Age	20.11±0.6	20.22±0.44
Grade	1	1
Height(cm)	176.77±5.04	172.27±9.03
Weight(kg)	66.88±7.65	64.62±13.81

M: mean, SD: standard deviation

2.2 Research Design

This study designed a repeated measurement experiment to compare and analyze the effects of spinal thermal massage relaxation therapy and psychological relaxation therapy on the stress and psychological stability of physical education majors.

In order to compare different relaxation therapies, spinal thermal massage and psychological relaxation therapy were used as independent variables, and changes in the competitive state anxiety(CSAI-2) test and stress questionnaire(GARS) were set as dependent variables.

Each treatment was performed twice a day for a total of 5 days. For the spine thermal massage relaxation therapy group, the Ceragem medical device V4 was used for about 40 minutes each time, and for the psychological relaxation therapy group, the gradual relaxation program was applied for about 40 minutes each time. The treatments were conducted for 1 week, and measurements were taken before and after each treatment.

2.3 Spinal thermal massage and psychological relaxation therapy

2.3.1 Spinal Heat Massager

The device used in this study for the spinal thermal massage relaxation therapy is a spinal thermal massager V4(model name: CGM MB-1901, CERAGEM, Korea). It applies constant heat to the human body, automatically adjusts the height according to the state of the spine used by the internal catheter, measures the weight distribution, stimulates the spine massage point, and massages the spine line. It was applied twice a day for about 40 minutes per session at lunch and dinner time for 5 days a week.

2.3.2 Psychological relaxation therapy

The psychological relaxation therapy used in this study was developed by Chung[18] to examine the important components of eight psychological skill programs such as achievement desire, goal setting, self-confidence, positive attitude and language, relaxation, arousal and anxiety control, imagery, and attention. The results were reconstructed and used in this study. Based on this, psychological relaxation therapy was created based on the basic understanding of psychological skill training centered on relaxation training and the need to conduct prior education on the application process and details. Also therapy was based on a relaxation training program and image training used in the study of Jung, & Kim[19], Park[20], and Hong[21] that found using image training helpful for cognitive anxiety, physical anxiety, and state confidence in competitive state anxiety. As an active alternative method, the detailed training names and content were reconstructed according to each training stage and session by dividing it into basic stage, skill stage, and practical stage. Table 2 shows the details of psychological relaxation therapy.

Table 2. Detail of psychological relaxation program

time	psychological relaxation program
Day1 (1-2)	Education: Jacobson progressive relaxation Training: Instructing them to progressive relaxation in the areas they need on their own. After, they to do progressive relaxation even in tense situations.
Day2 (3-4)	Education: Self-confirmation, image of individual best performance scenes Training: The importance of positive thinking and magnetization, replacing negative magnetization with positive magnetization
Day3 (5-6)	Education: cognitive reconstruction training Training: Physical relaxation + mental relaxation and image training, after watching yourself and the best players, and then image resetting
Day4 (7-8)	Education: cognitive reconstruction training Training: Physical relaxation + mental relaxation and image training, after watching yourself and the best players, and then image resetting
Day5 (9-10)	Education: Suggest success and routines Training: Imagery training on best game and set on routine

2.4 Metrics and Tools

2.4.1 Subjective Stress Survey Tools

1) Stress Rating Scale(GARS)

For the overall evaluation of the participants' perceived stress, GARS, which is used in domestic psychosomatic studies, was selected as a scale for somatization, anxiety, depression, and hostility among other stress rating scales. The GARS consists of a total of 8 items, with 0 point for no stress at all and 9 points for extremely severe, and the higher the total score, the higher the perceived stress[22]. In this study, the internal reliability(Cronbach's α) was 0.655, and the posterior reliability(Cronbach's α) was .939.

2) Sports Competition State Anxiety Test(CSAI-2)

We compared the competitive state anxiety test(CSAI-2) developed based on the Likert-type scale[23] with the CSAI-2 original English test paper presented in the 'Sports Psychology Test Sheet' and the CSAI-2 translated test paper presented in the 'Sport Psychology Test Paper Handbook'[24] and reviewed and revised them for this study. The sports competition state consists of three factors: cognitive state anxiety, physical state anxiety, and

self-confidence. Each factor ranges from a minimum of 4 to a maximum of 36. The higher the score, the higher the anxiety and the higher the confidence. At the time of development, the reliability of the tool(Cronbach's α) was 0.79 to 0.90, and the internal reliability(Cronbach's α) in this study was 0.845.

2.5. Statistical method

All data obtained in this study used SPSS Ver 25.0 Program. In order to examine the group homogeneity of the subjects of this study, the mean and standard deviation were calculated through the independent sample t-test. GARS was used to investigate the difference between stress and competitive anxiety levels after the application of spinal thermal massage relaxation therapy and psychological relaxation therapy. To verify the mean difference in the total score of CSAI-2, the mean standard deviation and statistical significance were examined through the dependent t-test. To find out whether there was an interaction effect for each treatment of spinal thermal massage and psychological relaxation therapy, we conducted an analysis of covariance(ANCOVA) in which the prior value was set as a covariate and the treatment method (2) was used as an independent variable. The statistical significance level of all data processing in this study was set to .05.

3. Research Results

3.1 Difference in stress level between spinal thermal massage and psychological relaxation therapy

The paired sample t-test was conducted to examine the difference in stress and competitive state anxiety between spinal thermal massage treatment and psychological relaxation therapy and the result is shown in Table 3.

Table 3. Change in stress according to before and after use of heat and massage device, psychological relaxation

	Pre-test	Post-test	t	p
heat and massage device	22.66±7.54	17.55±9.58	1.190	.268
psychological relaxation	21.44±6.267	14.00±3.391	3.004	.017*

* $p < .05$

The spinal thermal massage treatment group did not show statistical significance in stress level, from 22.66±7.54 pre-treatment to 17.55±9.58 post-treatment($t=1.190$, $p=.268$). In the psychological relaxation therapy treatment group, the mean pre-therapy was 21.44±6.267, and the mean post-therapy was 14.00±3.391, which was statistically significant ($t=3.004$, $p<.05$).

3.2 Differences in competitive state anxiety between spinal thermal massage and psychological relaxation therapy

Tables 4 and 5 show the changes in stress and psychological stability before and after 5 days of application of spinal thermal massager and psychological relaxation therapy by examining competitive state anxiety.

Table 4. Change in subjective Competitive State Anxiety according to before and after use of heat and massage device

	Pre-test	Post-test	t	p
Physical anxiety	19.11±4.013	15.88±4.342	2.348	.047*
cognitive anxiety	18.22±3.833	13.11±4.702	3.507	.008*
confidence	20.66±4.000	18.88±4.781	1.132	.290

* $p < .05$

Table 5. Change in subjective Competitive State Anxiety according to before and after use of psychological relaxation

	Pre-test	Post-test	t	p
Physical anxiety	18.66±3.80	15.55±3.77	1.575	.154
cognitive anxiety	17.55±4.63	15.66±3.90	.866	.412
confidence	20.88±5.68	19.88±3.98	.440	.672

Table 4 shows the effects of spinal thermal massage treatment. Competition state anxiety was 19.11 ± 4.013 before treatment and 15.88 ± 4.342 after treatment, which was statistically significant ($t=2.348$, $p<.05$). Anxiety also significantly decreased from 18.22 ± 3.833 to 13.11 ± 4.702 ($t=3.507$, $p<0.01$). However, for state confidence, the result was not statistically significant, from 20.66 ± 4.000 before treatment to 18.88 ± 4.781 after treatment ($t=1.132$, $p=.290$).

In psychological relaxation therapy, cognitive anxiety was 17.55 ± 4.63 before treatment and 15.66 ± 3.90 after treatment ($t=.866$, $p=.412$), physical anxiety was 18.66 ± 3.80 before treatment and 15.55 ± 3.77 after treatment ($t=1.575$, $p=.154$), state confidence is 20.88 ± 5.68 before treatment 19.88 ± 3.98 after treatment ($t=.440$, $p=.672$). None of them were statistically significant.

Both groups showed an overall decrease in the mean pre-stress, but there was a significant difference in competitive state anxiety only in the spine thermal massage treatment group.

3.3 Changes in stress and competition state anxiety of spinal thermal massage and psychological relaxation therapy

Covariance analysis was performed using pre-measured values as covariates to verify whether spinal thermal massage and psychological relaxation therapy were effective on stress and competitive state anxiety. Table 6 shows the results of verifying the statistical significance of the corrected post-test scores for spinal thermal massage and psychological relaxation therapy. There was no statistically significant difference between the two groups in stress ($F=1.119$, $p=.307$) and competitive state anxiety ($F=.182$, $p=.148$).

Therefore, it was found that there was no difference in effects on stress and competitive state anxiety that spinal thermal massage and psychological relaxation therapy have for preliminary physical education teachers.

Table 6. Results of ANCOVA, according to heat and massage device, psychological relaxation

	SS	df	MS	F	p
pre_GARS	9.902	1	9.902	.182	.676
group	60.879	1	60.879	1.119	.307
pre_CSAI-2	233.660	1	233.66	.182	.148
group	64.052	1	64.052	1.119	.437

4. Discussion

The purpose of this study was to investigate the effect of spinal thermal massage relaxation therapy and psychological relaxation therapy on stress and competitive state anxiety in preliminary physical education teachers. The result of the study shows that even though there was no statistically significant result of the pre and post-mean difference in the stress relaxation of spinal thermal massage, it decreased in the mean of pre- and post-stress. In competitive state anxiety, there was a significant decrease in physical and cognitive anxiety.

In the relaxation therapy control group, stress reduction was statistically significant, but there was no significant difference in competitive state anxiety.

The results of covariance analysis show that there was no difference between the spinal thermal massage group and the psychological relaxation therapy group and this means both treatments are likely to reduce stress. Also as shown in the study results[25] that shows applying thermal massage to the spine effectively relieves stress, the combination of acupressure and heat plays a positive role in relieving pain and stress in the body and restoring the body to a stable state.

In relation to spinal heat massage relaxation, looking at the hypothesis in a study[26] that massage helps release endorphins which promotes muscle and mental relaxation and discharge pain-causing substances by increasing the pain threshold and increasing local blood flow so it closes the pain gate following stimulation of large-diameter nerve fibers (inhibitory action on spinal T cells), the results of this study suggest that spinal thermal massage and

psychological massage can be used to effectively manage the stress of preliminary physical education teachers who are under tremendous pressure from preparing for the highly competitive national teaching certification examination.

There are many studies that support our findings on effectiveness of spinal thermal massage on competitive anxiety relief. There is a study that shows progressive muscle relaxation (PMR) relieves muscle tension and balances the autonomic nervous system, which relieves psychological tension [17]. Another study explains that when the brain detects a stimulus in a fearful or threatening situation, the muscle recognizes the signal and becomes tense but reducing stimulation of the brain-to-muscle cooperative system decrease the response in the cognitive-memory domain, thereby reducing muscle tension and relaxing the smooth muscles of the cardiovascular system [27]. Also studies published overseas show that PMR is effective in anxiety, sympathetic nervous system activity and cortisol lowering [28], anxiety, depression, and pain reduction [29], coping ability against anxiety [30]. Domestic studies related to anxiety [31, 32] and the study of Kim illustrate that PMR is effective in reducing test anxiety among college students [33].

In this study, different results for each treatment and somewhat contradictory results from previous studies in relation to the alleviation of competitive anxiety in this study resulted from the differences in effectiveness between spinal thermal massage which is a body-centered thermal massage relaxation therapy and psychological relaxation therapy, which is an image reconstruction training using imagery based on emotion-centered approach. It is judged that additional research is needed considering the addition of a complex intervention (spinal warming+psychological relaxation) group and extension of the relaxation therapy intervention period so that the research on body-centered relaxation and psychological relaxation of spinal thermal massage can be further subdivided into comparative research.

5. Conclusion and recommendations

In this study, the following conclusions were obtained based on the results of comparing one-week spinal thermal massage relaxation therapy and psychological relaxation therapy for changes in subjective stress and sports competition state anxiety.

First, it was found that the stress score (GARS) was significantly decreased only in the psychological relaxation therapy when comparing the spine thermal massage relaxation therapy group and in the psychological relaxation therapy.

Second, for the sub-elements of competitive state anxiety (CSAI-2), there was a statistically significant difference in cognitive anxiety and physical anxiety for the spinal thermal massage group. Also both groups showed a decrease in the state confidence after each treatment, but there was no statistically significant difference.

In conclusion, it was confirmed that the use of the spinal thermal massage device was effective in relieving stress in preliminary physical education teachers

Psychological relaxation therapy was more effective than spinal thermal massage in reducing stress, and spinal thermal massage was more effective than psychological relaxation therapy in reducing competitive state anxiety such as cognitive anxiety and physical anxiety.

There was no difference in effectiveness between the two treatments, spinal thermal massage and psychological relaxation therapy. Therefore, it can be seen that the two treatments had different statistical significance in relieving stress and competitive anxiety but both treatments were effective.

It is suggested that further research is needed considering adding a complex intervention (spinal warming+psychological relaxation) group and extending the relaxation therapy intervention period so that the research on body-centered relaxation and psychological relaxation of spinal thermal massage could be a more detailed comparative study.

REFERENCES

- [1] S. H. Hwang. (2020). A narrative inquiry on the preparing process for the teacher recruitment examination of a preliminary physical education teacher who was a student athlete. *The Korean Society Of Sports Science*, 29(6), 743-757. DOI: 10.35159/kjss.2020.12.29.6.743
- [2] K. N. Kim. (2019). The Effects of Early Childhood Education Students' Leisure Engagement on Academic Stress and Academic Deviation Behavior. *Asian Journal of Physical Education and Sport Science*, 7(2), 39-49. DOI: 10.24007/ajpess.2019.7.2.004
- [3] S. K. Kim. (2020). A analysis on the Online Physical Education during COVID-19 Pandemic. *The Korean Journal of Elementary Physical Education*, 26(2), 145-158. DOI: 10.3390/educsci11010003
- [4] S. H. Kim & S. M. Cheon. (2020). A Case Study of Online Class Operation and Instructor's Difficulties in Physical Education as a Liberal Arts in University Due to COVID-19. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 18, 9-26. DOI: 10.51979/KSSLS.2020.07.81.9
- [5] H. Y. Kang. (2021). The effect of proficiency in teaching in untact physical education class on learning satisfaction and immersion by elementary preparatory teacher. *Journal of Korean Society for the Study of Physical Education*, 25(4), 211-225. DOI: 10.15831/jksspe.2021.25.4.211
- [6] S. H. Lee & D. Y. Lee. (2013). Validation of the MBI-SS Scales based on medical school students. *Asian journal of education*, 14(2), 165-187. DOI: 10371/89368
- [7] K. S. Ahn. (2007). *Relations between the society's support for soccer players and their exercise stress-Centering on middle school students*. Unpublished Doctoral dissertation, Kookmin University, Seoul.
- [8] B. S. Kim. (2020). Mental health of athletes in the age of COVID-19. *Korean Journal of Sport Science*, 153, 67-75.
- [9] M. J. Woo & G. Y. Lee. (2013). The Influence of Stress on Shooting Performance and Cortico-cortical Communication: An EEG Coherence Analysis. *Korean journal of physical education*, 52(2), 139-149. DOI: 10.1016/j.paid.2013.07.328
- [10] D. H. Park et al. (2004). Effects of Short-Term's CGM-M Treatment On Changes of Thyroid, Stress and Anabolic Hormones. *Korean Journal of Sport Science*, 15(1), 34-46. UCI: 1410-ECN-0102-2009-400-000080362
- [11] F. R. De Oliveira & L. C. V. Gonçalves & F. Borghi, Da Silva & A. E. Gomes & G. Trevisan & De Oliveira Crege. (2018). Massage therapy in cortisol circadian rhythm, pain intensity, perceived stress index and quality of life of fibromyalgia syndrome patients. *Complementary therapies in clinical practice*, 30, 85-90. DOI: 10.1016/j.ctcp.2017.12.006
- [12] M. H. Lee. (2008). *The influence that general massage treatment weights on the blood pressure and the heart rate of adult women-Focused on the Meridian pathway massage and the Thai massage*. Unpublished Doctoral dissertation, Kyonggi University, Seoul.
- [13] K. U. Kim (2019). *Effects of Spiral Column Thermal Massage Using a Device on Pain, Immunity, and Antioxidant Function*. Unpublished doctoral dissertation, Jeonju University, Jeonju.
- [14] L. A. Pawlow & G. E. Jones. (2002). The impact of abbreviated progressive muscle relaxation on salivary cortisol. *Biological Psychology*, 2002(1), 1-16. DOI: 10.1016/s0301-0511(02)00010-8
- [15] E. C. Devine. S. K. Westlake. (1995). The Effects of Psychoeducational Care Provided to Adults with Cancer: Meta-Analysis of 116 studies. *Oncology Nursing Forum* 22(9), 1339-1381. DOI: 11996003516
- [16] J. T. Shin & R. B. Kim. (2007). The Analysis on the Effects of Stress Coping Program for Female Players of University. *Korean Journal of Sport Science*, 18(1), 111-119. DOI: 10.24985/kjss.2007.18.1.111
- [17] C. Nickel et al. (2005). Topiramate treatment in bulimia nervosa patients: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Eating Disorders*, 38(4), 295-300. DOI: 10.1002/eat.20202
- [18] C. H. Jung. (2003). *Sports psychology*. Seoul: geumgwang.
- [19] S. H. Jung & Y. N. Kim. (2015). The Candidates National Badminton Training Images in Accordance with the Applicable Competitive State Anxiety, Psychological Skills, Differences in Brainwave Activity. *Journal of Coaching Development*, 17(3), 47-56.
- [20] J. K. Park. (2004). Counselling skills for athletes and coaches. *Journal of coaching development*, 6(1), 15-30.
- [21] K. D. Hong. (2008). Development and Practical Application of Relaxation Training Contents for Middle and High School Archery Players. *Journal of the korea contents society*, 8(4), 237-246. DOI: 10.5392/JKCA.2008.8.4.237
- [22] K. B. Koh & J. K. Park & C. H. Kim. (2000). Development of the Stress Response Inventory. *Journal of the korean neuropsychiatric association*, 39(4), 707-719.
- [23] I. S. Moon. (1996). *Sports psychology exam questions*. Seoul: Deahanmedia.

- [24] K. H. Lee & B. J. Kim & J. D. Ahn. (2004). *Handbook of sports psychology exam questions*. Seoul: Rainbowbooks.
- [25] D. W. Lee, J. Y. Park, S. N. Eom, D. W. Kim, S. H. Cho, C. Y. Ko, & H. S. Kim. (2012). Effects of Combined Stimulus on Stress Relief. *Journal of Biomedical Engineering Research*, 33, 194-201.
DOI: 10.9718/JBER.2012.33.4.194
- [26] H. Y. Ko et al. (2011). Diagnosis and Treatment of Low Back Pain: A Clinical Practice Guideline from Korean Association of Pain Medicine. *Clinical pain*, 10(1), 1-37.
DOI: 0948920110100010001
- [27] K. K. Chon. (1994). Historical and Theoretical Background of Progressive Relaxation and Its Applications. *The Korean journal of stress research*, 2(1), 95-104.
DOI: 0389419940020010095
- [28] L. A. Pawlow & G. E. Jones. (2002). The impact of abbreviated progressive muscle relaxation on salivary cortisol. *Biological psychology*, 60(1), 1-16.
DOI: 10.1016/s0301-0511(02)00010-8
- [29] E. C. Devine & S. K. Westlake. (1995). The Effects of Psych-Educational Care Provided to Adults with Cancer: Meta-Analysis of 116 studies. *Oncology Nursing Forum*, 22, 1369-1381. DOI: 11996003516
- [30] G. B. Mesibov & E. Schopler. (1994). *Behavioral Issues in Autis*. Plenum.
- [31] S. K. Moon. (2012). *The Effects of Dance & Movement Therapy on the Anxiety of Stroke Hemiplegic Patients Body-Relaxation Method*. Unpublished Doctoral dissertation, Seoulwomen's University, Seoul.
- [32] Y. M. Noh. (2017). *The Effects of the Mindfulness Meditation and the Progressive Muscle Relaxation on the Acne and its associated psychological factors*. Unpublished Doctoral dissertation. Women's University, Seoul.
- [33] J. J. Kim. (2019). *The Effectiveness of Imagery Rescripting Practices for University Students With Test Anxiety*. Unpublished Doctoral dissertation, Yeungnam University, Gyeongsan.

신영혜(Young-Hye, Jang)

[정회원]



- 2015년 8월 : 성결대학교 체육교육과(교육학사)
- 2021년 8월 : 성결대학교 교육대학원 체육교육전공(교육학석사)
- 2021년 9월 ~현재 : 성결대학교 일반대학원 박사과정

- 관심분야 : 체육교육, 스포츠심리
- E-Mail : ghkdsjala@naverr.com

장홍영(Hong-Young Jang)

[정회원]



- 2010년 8월 : 용인대학교 대학원 특수체육교육학과 (교육학석사)
- 2016년 2월 : 용인대학교 대학원 체육학과 (체육학박사)
- 2022년 2월 : 성결대학교 대학원 사회복지학과 (사회복지학박사)
- 2023년 9월 ~현재: 목원대학교 대학원 혁신본부 연구교수

- 관심분야 : 특수체육, 운동생리학, 노인체육, 스포츠복지
- E-Mail : brighthong0@mokwon.ac.kr

기후변화시대에 대중교통이 교통부문에 미치는 영향

오은열¹, 문형진^{2*}

¹성결대학교 도시디자인정보공학과 조교수, ²성결대학교 정보통신공학과 부교수

The Impact of Public Transportation on the Transport Sector in the Age of Climate Change

Eun-Yeol Oh¹, Hyung-Jin Mun^{2*}

¹Assistant Professor, Dept. of Urban Design Information Engineering, SungKyul University

²Associate Professor, Dept. of Information Communication Engineering, SungKyul University

요약 본 논문에서는 기후변화를 넘어 기후위기의 현실에서는 자동차에서 대중교통으로 교통체계를 바꾸는 것이 매우 중요함을 강조한다. 왜냐하면 전 세계적으로 기후위기 대응을 위해 탄소중립 실현과 지속 가능한 발전을 위해 필요하기 때문이다. 기후변화시대에 대중교통을 개선함으로써 온실가스 배출을 줄이고, 소음·대기오염 등 환경개선과 교통부문의 사회적 비용을 줄일 수 있으며, 탄소중립을 강화할 수 있다. 따라서 대중교통의 접근성을 향상시키고 저렴하게 이용할 수 있게 하는 교통정책은 개인이나 가족, 사회 공동체에 커다란 영향을 미친다. 또한 환경을 개선하고 경제적 기회를 만들고, 사람들이 보다 건강하게 살아가게 만들어 준다. 즉 대중교통은 삶의 질 개선과 직결돼 있다고 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 교통부문이 전 세계 온실가스(GHG) 배출의 약15%를 차지함에 있어 대중교통의 수준을 높여 기후위기 대응과 삶의 질을 향상하기 위한 방향을 모색하고 그 시사점을 도출하는데 연구의 목적을 두고 있다.

키워드 : 탄소중립, 온실가스, 기후위기, 대중교통, 삶의 질

Abstract This paper emphasizes the importance of changing the transportation system from automobiles to public transportation in the reality of the climate crisis, beyond climate change. This shift is necessary globally for realizing carbon neutrality and sustainable development in response to the climate crisis. By improving public transportation in the era of climate change, greenhouse gas emissions can be reduced, environmental improvements such as noise and air pollution can be addressed, social costs in the transportation sector can be reduced, and carbon neutrality can be strengthened. Therefore, transportation policies that improve access to public transportation and make it available inexpensively can have a great impact on individuals, families, and social communities. In addition, such policies can improve the environment, create economic opportunities, and help people live healthier lives. In other words, public transportation can be understood to be directly connected to improving the quality of life. Therefore, the purpose of this paper is to explore methods for responding to the climate crisis and improving the quality of life by raising the level of public transportation, which accounts for about 15% of global greenhouse gas (GHG) emissions, and to draw implications from the research results.

Key Words : Carbon Neutrality, Greenhouse Gases, Climate Crisis, Public Transportation, Quality of Life

*Corresponding Author : Hyung-Jin Mun(mun.it@daum.net)

Received September 7, 2024

Accepted September 24, 2024

Revised September 19, 2024

Published September 28, 2024

1. 서론

지난 반세기는 자동차의 시대로서 도시계획이나 도시정책 모두 더 많은 자동차가 더 빨리 달릴 수 있는 교통체계를 갖추는 것에 초점을 두었다. 자동차 수가 많아진 만큼 기후변화 속도도 그만큼 빨라졌다는 것이다. 기후변화를 넘어 기후위기의 현실에서는 자동차에서 대중교통으로 교통체계를 바꾸는 것은 매우 중요한 일이다.

왜냐하면 전세계적으로 기후위기 대응을 위해 탄소중립 실현과 지속가능한 발전을 위해 필요하기 때문이다. 기후변화시대에 대중교통을 개선함으로써 온실가스 배출을 줄이고, 소음·대기오염 등 환경개선과 교통부문의 사회적 비용을 줄일 수 있으며, 탄소중립을 강화할 수 있다.

따라서 대중교통의 접근성을 향상시키고 저렴하게 이용할 수 있게 하는 교통정책은 개인이나 가족, 사회공동체에 커다란 영향을 미친다. 또한 환경을 개선하고 경제적 기회를 만들고, 사람들이 보다 건강하게 살아가게 만들어 준다.

즉 대중교통은 삶의 질 개선과 직결돼 있다라고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 교통부문이 전 세계 온실가스(GHG) 배출의 약15%를 차지함에 있어[1], 대중교통의 수준을 높여 기후위기 대응과 삶의 질을 향상하기 위한 방향을 모색하고 그 시사점을 도출하는데 연구의 목적을 두고 있다.

연구의 방법으로는 기존 문헌조사 및 분석을 통해 시사점을 도출하고 교통부문에 있어 대중교통이 기후변화시대에 삶의 질을 향상시키기 위한 방향을 모색해 보고자 함에 있어 국내·외 사례에 대한 기존 문헌의 검토, 통계자료의 분석 및 관련 인터넷 홈페이지를 검색하여 자료를 수집하고 분석하였다.

2. 선행연구

본 연구와 관련한 주요 선행연구를 파악해본 결과, 세 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 신동원(2022)은 ‘기후위기와 탄소중립도시의 과제’에서 기후변화는 극한 홍수, 폭염, 가뭄, 태풍 등과 같이 기후재난의 횟수와 강도를 높이고, 도시에 있는 건물, 도로, 각종 인프라에 피해를 준다고 하였다.

도시는 공간적인 온실가스 배출원의 특징으로 인하여 건물이나 수송, 폐기물 부분 등의 부분별 탄소중립

과 연관성이 높다고 하였으며, 특히 건물과 도로는 도시를 구성하는 인프라의 핵심으로 도시의 탄소배출과 크게 연관되어 있음을 제시하였다. 서울시에서는 에너지 사용으로 인해 탄소배출이 전체 배출량의 91%수준이며, 에너지 사용으로 인한 배출량 중 건물에서 68.8%, 수송분야에서 19.2%를 배출하고 있는 것으로 파악하였다. 따라서 도시 내 온실가스 감축을 위해서는 도시 시스템을 이용하는 시민의 역할이 중요함을 강조하였다[2].

두 번째, 이지원·김태형(2024)은 ‘기후 및 소멸 이중위기와 교통대안 해법’에서 DRT(수요대응형교통)를 제시하여 국토의 탄소배출량 중 14%를 차지하는 수송 부분의 탄소 배출 감소에 기여할 수 있는 잠재력을 갖고 있다고 하였다. 이 연구는 DRT 운영 사례를 기반으로 DRT의 탄소배출량 저감 효과를 추정하였으며, 이를 위해 자가용 이용 횟수와 통행 시간 변화를 측정하여 대안교통수단으로서의 가치를 추정하고 교통 활동 기반 모형 중 통행의 속성을 반영할 수 있는 COPERT모형을 활용하여 운행 지역 별 탄소 배출량을 측정하고 비교하였다[3].

세 번째, 김상철(2024)은 ‘대중교통 부문 기후위기 대응현황과 노동조합의 대응’에서 대중교통을 교통수단 이용의 일상성에 초점을 두고 좀 더 일반적이고 보편적인 수단에 초점을 두었다. 그런 점에서 대중교통의 가장 작은 범위는 버스와 지하철로 보고 이를 대상으로 하였다.

기후위기 대응의 여러 분야 중 특히 수송분야에서 대중교통이 가지고 있는 정세적 장점에도 불구하고 개별 교통수단의 영역에서는 수세적인 상황에 놓여 있는지에 대한 역설을 다루면서 ‘이중적 전환’이라는 개념을 통해서 기후위기 대응이라는 과제가 현행 교통 제도의 변화라는 제도 변혁적 과제와 동시에 추진될 수 밖에 없다는 점을 강조하였다[4].

기존 선행연구에서는 대체적으로 기후위기 대응(변화)과 교통을 별개의 개념으로 제시하였으나, 본 연구는 대중교통을 중심으로 기후변화시대에 교통부문의 역할과 방향을 제시함으로써 기후위기시대에 교통부문에 대한 역할의 중요성을 강조했다라는 점에서 선행연구와 차별성을 둘 수 있다.

3. 교통부문의 현황과 분석

3.1 차종별 및 에너지원별 온실가스 배출량

기후위기 대응에 대한 교통전환을 위해서는 탄소중립뿐만 아니라 수송 부문에서도 수요관리가 필요하다. 에너지를 효율적으로 사용하게 되면 적은 양으로 더 많은 생산성을 확보할 수 있기 때문이다.

특히 수송부문에서 배출되는 온실가스 배출량 중 도로(자동차)가 차지하는 비중은 95.6%로 가장 높다. 이외 철도(1.8%), 항공(1.6%), 해운(1.0%) 분야는 상대적으로 미미하게 나타났다. 이 때문에 기후위기 대응을 위한 수송부문 대책에 있어 상당부분은 자동차에 초점이 맞춰질 수밖에 없다. 국내 차종별 비중은 Table 1.과 같다[5].

Table 1. Domestic Composition ratio by vehicle type

Classification	Composition ratio(%)
Internal fuel vehicles	97.9
Hybrid	1.8
Electric car	0.3
Plug-in Hybrid	0.03
Hydrogen vehicle	0.004

source:S.C.Kim(2024), Labor Review /Researcher Reconfiguration

또한 수송수단별 에너지원에 대한 비중을 파악해 본 결과, 육상수단 중 석유와 도시가스, 신재생에너지는 각각 94.4%와 3.6%, 2.0%를 차지하였다. 철도수단에 있어서는 석유와 전력이 각각 28.1%, 71.6%로 나타났다.

수상수단 중에 석유는 100%이며, 항공수단에 있어서도 석유 에너지원이 100%로 파악되었다.

이와 같이 수송수단별 에너지원별 비중은 대부분이 화석연료인 석유인 것으로 나타났다. 수송수단별 에너지원별 구성비는 Table 2.와 같다.

Table 2. Share of energy sources by means of transport

Classification	Composition ratio(%)	
Land	Oil	94.4
	Gas	3.6
	Renewable energy	2.0

Railway	Oil	28.1
	Electrical force	71.6
Sea	Oil	100.0
Flight	Oil	100.0

source:S.C.Kim(2024), Labor Review /Researcher Reconfiguration

3.2 교통수단별 이산화탄소(CO₂) 배출량 비교

기후변화시대에 미치는 영향을 줄일 수 있는 방안을 파악해 봄에 있어 개인이 이용하는 교통수단에 따라서 기후변화에 미치는 영향이 달라진다. 이에 따라 본 연구는 세부 교통수단별 이산화탄소(CO₂) 배출량을 장거리 이동과 근거리 이동에 대한 교통수단별 이산화탄소 배출량을 비교하여 제시한다.

여기서, 교통수단별 이산화탄소 배출량을 비교한 결과, 장거리 이동에 있어서 교통수단별 이산화탄소 배출량과 근거리 이동에 있어서 교통수단별 이산화탄소 배출량을 비교한 것을 Table 3.와 Table 4.에 제시하였다.

Table 3. CO₂ emissions by long distance transport

By means of transportation	CO ₂ Emissions (kg-CO ₂ /person·km)
Railway	0.04~0.12
Express bus	0.03~0.07
Hybrid car	0.03~0.12
Heavy car	0.05~0.20
SUV car	0.07~0.27
Passenger plane	0.11~0.28

source:S.C.Kim(2024), Labor Review /Researcher Reconfiguration

먼저, 철도, 버스, 여객기의 배출량을 계산할 때, 결과값을 좌우하는 중요한 점은 ‘평균 승차·탑승률, 즉 실제 승차 인원수를 기준으로 한 데이터를 사용할 것인가, 또는 승차·탑승률 100%를 기준으로 상정할 것인가’이다.

본 논문에서는 두 가지 기준에 대해 상한값과 하한값으로 나누어 이산화탄소 배출계수를 제시한다[6].

예를 들어, 철도에 정원과 같은 수의 승객이 탄다고 가정한 경우의 이산화탄소 배출계수(kg-CO₂명·km)가 철도 막대 그래프의 하한값이 된다. Table 3.의 경우

하한값은 철도, 버스, 여객기는 정원이 승차·탑승하고 있는 경우, 차는 1대에 4명이 승차하고 있는 경우를 나타내며, Table 4.의 경우 하한값은 통근열차, 버스는 정원이 승차하고 있는 경우를 나타내고, 차는 1대에 4명이 승차하고 있는 경우를 나타낸다.

하지만 실제 철도 승차율이 약 50%밖에 안된다면 이산화탄소 배출량은 2배가 되는데, 이것이 철도 막대 그래프의 상한값이 된다. 상한값은 실제 평균 승차·탑승률을 사용한 경우와 차 1대에 1명만 승차하고 있는 경우를 나타낸다[7].

Table 4. CO₂ emissions by close range transport

By means of transportation	CO ₂ Emissions (kg-CO/person·km)
Commuter train	0.04~0.08
Intra-city bus	0.04~0.15
Hybrid car	0.03~0.11
Heavy car	0.07~0.27
SUV car	0.09~0.34

source: D.W.Shin(2022), Planning and policy /Researcher Reconfiguration

이동수단으로서 차량을 선택하면 도로를 주행하는 차량이 1대 늘어나고, 대기 중의 이산화탄소 배출량이 차량 1대분이 늘어난다. 이에 대해 철도나 버스를 선택하면, 자신이 탑승하지 않더라도 운행되는 철도와 버스 내에서 공석을 1개 채우는 것에 지나지 않으므로 이산화탄소 배출량이 크게 증가하지는 않는다.

따라서 개인으로서 철도와 버스의 이산화탄소 배출량과 차량의 이산화탄소 배출량을 비교할 때는 승차율 100%인 경우의 배출량을 사용하는 것이 의미가 있고 일관성을 유지할 수 있다. 따라서 철도와 버스는 일반적으로 자가용차보다도 배출계수가 작다는 것을 알 수 있다.

4. 기후변화에 따른 교통부문의 방향

4.1 효율적인 교통부문 적용방안의 목표

대중교통은 대중교통수단 및 대중교통시설에 의하여 이루어지는 시스템을 말하며, 대중교통수단은 일정한 노선과 운행시간표를 갖추고 다수의 사람을 운송하는데 이용되는 운송수단을 말한다[8, 9].

지금까지의 교통정책은 이동 효율에만 치중한 나머지 대기오염물질과 온실가스 배출 증가, 도시민의 건강악화 등의 부정적인 영향을 가져왔다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 자동차 통행의 자유를 제한하고, 대중교통이나 보행, 자전거 통행 등을 지원하는 제도와 시설을 적극적으로 도입할 필요가 있다.

이와 같이 기후위기에 시대에 교통부문에 있어 특히 수송 부문에 대한 감축전략으로 전기·수소차의 보급확대와 교통수요관리에 교통정책이 변화될 수 있도록 강화된 교통정책의 목표가 설정될 필요가 있다[10].

4.2 기후변화에 따른 교통부문의 방향

기후변화 위기시대에 교통부문에 있어 대중교통의 확대는 사회적 불평등 즉 교통약자의 이동 권리를 해소할 뿐만 아니라 기후위기에 맞설 수 있는 강력한 교통수단이 된다. 이는 편리하고 저렴한 대중교통으로서의 가치가 높기 때문이다.

따라서 기후변화시대에 따른 대중교통이 강력한 교통수단이 되어야 하는 방향으로서 첫째, 대중교통은 온실가스 배출을 감소시켜 기후위기에 대응할 수 있다.

또한 대중교통의 수준을 높이는 것은 기후위기에 대응뿐만 아니라 소외된 사람들에게 보다 많은 사회적 기회를 의미하며, 보편적 이동권을 부여한다. 여기에 교통비용은 기후, 대기오염, 건강 그리고 삶의 질에 커다란 영향을 끼친다.

둘째, 대중교통은 지역 주민들의 삶의 질을 개선시킨다. 대중교통의 접근성을 향상시키는 일은 온실가스 배출을 감소시킬 뿐만 아니라 주민들에게 의료와 같은 필수 서비스를 이용할 수 있게 한다.

셋째, 차량에서 배출되는 각종 오염물질은 연료로부터 기인하기 때문에 물질별로 유기적인 관계가 있을 수밖에 없다. 이러한 경향 때문에 대중교통과 온실가스 저감 정책이 크게 다를 수 없다. 따라서 대중교통 전환, 에너지, 기후변화 등 세 가지 정책을 통합적으로 함께 추진하는 게 효율적이라 할 수 있다.

5. 결론

교통부문에 있어 약40%의 국가에서 수송 부문은 전체 에너지 소비의 가장 큰 부분을 차지하고 있다 [11, 12].

따라서 기후변화시대에 기후위기를 극복하고 불평등을 해소하려는 교통정책으로는 무엇보다 편리하고 저렴하게 이용할 수 있는 대중교통을 확충하는 일에 우선순위를 뒤야 하며, 대중교통을 통해 삶의 질과 직결돼 있다는 측면에서 우리에게 시사하는 바가 매우 크다는 점을 확인할 수 있다.

한편, 기후위기시대에 따른 교통부문의 역할로서 첫째, 대중교통을 통한 온실가스 배출가스를 감소시켜 기후위기에 대응하여야 함을 강조하고 있다[13].

둘째, 대중교통의 접근성을 향상시키는 일은 주민들의 삶의 질을 개선시킬 수 있다는 점을 제시하였다.

마지막으로, 온실가스 저감 정책 전략으로서 대중교통정책 강화, 에너지 정책에 대한 비전, 기후변화에 대한 선제적인 정책변화 대응 등 세 가지 정책을 통합적으로 함께 추진하는 것이 효율적임을 확인할 수 있다.

하지만 본 연구에서는 기존 문헌 및 분석을 통한 질적 연구 즉 해석적 연구방법에 비중을 두었다. 때문에 통계적으로 분석을 통하여 밝히는 연구 결과로 양적 연구에 미흡한 연구의 한계를 지니고 있다.

향후 본 연구를 통해 질적 연구와 양적 연구를 보다 극대화하여 확증적 연구방법으로 연구 결과를 밝혀보는 것이 연구의 한계점을 극복하고 개선되어야 할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] Greenpeace Seoul Office(2022), *Greenpeace East Asia Branch Annual Report*, Retrieved from <https://www.greenpeace.org/korea/update/28279/blog-ce-climatejustice-transport/>
- [2] D. W. Shin. (2022), *The Climate Crisis and the Challenges of Carbon Neutral Cities*, Planning and policy, Vol483, p.18-25.
Retrieved from <http://www.krihs.re.kr>
- [3] J. W. Lee & T. H. Kim. (2024), *Double Crises of Climate and Extinction and Solutions Through Transportation Alternatives*, Vol.2024.No.2.
Retrieved from <https://kepas.or.kr/homepage/custom/conference>
- [4] S. C. Kim. (2024), *Climate Crisis Response Status and Trade Union Response in Public Transportation Sector*, Vol.209, p.54-76.
Retrieved from https://www.kli.re.kr/kli/prdcList.es?mid=a10103010000&sch_prdcL=EB%85%B8%EB%8F%99%EB%A6%AC%EB%B7%B0
- [5] A. Y. Kim (2021), *Traffic Transition in Response to the Climate Crisis*, Naeil newspaper, Retrieved from <https://www.naeil.com/news/read/398845>
- [6] White Paper on the Earth (2014), *State of the World 2013: Is Sustainability Still Possible?* WorldWatch-Japan.org
- [7] W. H. Lee (2009), *Comparison of Carbon Dioxide Emissions by Transportation*, Retrieved from <https://blog.naver.com/lofsism/60068576838>
- [8] Korea Transportation Safety Authority(2023), *Public Transportation Status Survey Report*, Retrieved from <https://www.kotsa.or.kr/ptc/>
- [9] Ministry of Government Legislation (2022), *National Legal Information Center*, Retrieved from <https://www.law.go.kr/LSSc.db?section=&menuId=1&subMenuId=15&tabMenuId=81&eventGubun=060101&query=%EB%8C%80%EC%A4%91%EA%B5%90%ED%86%B5%EC%9D%98+%EC%9C%A1%EC%84%B1+%EB%B0%8F+%EC%9D%B4%EC%9A%A9%EC%B4%89%EC%A7%84%EC%97%90+%EA%B4%80%ED%95%9C+%EB%B2%95%EB%A5%A0#undefined>
- [10] Seoul Metropolitan City (2021), *2050 Seoul Climate Action Plan*, Retrieved from <http://ebook.seoul.go.kr/Viewer/69J1T6C2D9V3>
- [11] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (June, 2022),

Retrieved from https://www.molit.go.kr/USR/policyData/m_34681/1st.jsp?s_category=p_sec_5&srch_usr_titl=Y&psize=10

[12] European Commission (2021), *Making our homes and buildings fit for a greener future*. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/FS_21_3673

[13] UNEP(United Nations Environment Programme) (2020), *2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*, Nairobi: UNEP

오은열(Eun-Yeol Oh)

[정회원]



- 2000년 2월: 전남대학교 지역개발학과 (도시계획학석사)
- 2013년 2월: 전남대학교 지역개발 학과 (도시·지역개발학박사)
- 현재 : 성결대학교 도시디자인정보공학과 조교수
- 관심분야 : GIS-T(교통 지리정보체계) 분석, 도시공간정보분석, 도시계량분석

· E-Mail : oesh21@naver.com

문형진(Hyung-Jin Mun)

[중신회원]



- 2008년 2월 : 충북대학교 전자계산학과(이학박사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 성결대학교 정보통신공학과 교수
- 관심분야 : 정보보안, 네트워크 보안, 빅데이터분석

· E-Mail : mun.it@daum.net

스마트팜 자동화를 위한 딥러닝 기반 엽채류 이미지 분류

임지훈¹, 박홍석^{2*}

¹국립금오공과대학교 기계시스템공학과 학생, ²국립금오공과대학교 산학협력단 교수

Deep Learning-Based Leafy Vegetable Image Classification for Smart Farm Automation

Jihun Im¹, Hongsuk Park^{2*}

¹Student, Dept. of Mechanical Systems Engineering, Kumoh National Institute of Technology

²Professor, Industry-Academic Cooperation Foundation, Kumoh National Institute of Technology

요약 본 연구는 스마트팜 자동화를 위한 딥러닝 기반 엽채류 이미지 분류 시스템을 개발하고, 그 성능을 심도 있게 분석하였다. 기본적인 3층 구조의 CNN 모델뿐만 아니라 ResNet, Inception과 같은 고도화된 딥러닝 모델을 활용하여 엽채류 이미지를 분류하였으며, 각 모델의 성능을 비교하였다. 연구에 사용된 데이터는 스마트팜 환경에서 촬영된 고해상도 이미지와 공개 데이터셋으로 구성되었으며, 다양한 전처리 및 데이터 증강 기법을 통해 모델의 학습 효과를 극대화하였다. 그 결과, 딥러닝 기반 분류 시스템은 기존의 원본을 기반으로 한 딥러닝에 비해 더 높은 정확도와 효율성을 보여주었으며, 스마트팜의 자동화를 통한 생산성 향상과 비용 절감에 기여할 수 있음을 확인하였다. 이러한 연구는 스마트팜 기술의 발전에 중요한 역할을 할 것이며, 농업 자동화의 미래를 위한 기술적 토대를 마련하는 데 기여할 것으로 기대된다.

키워드 : 스마트팜, 엽채류, 딥러닝, 자동화, 농업, 이미지, 학습

Abstract This study developed a deep learning-based leafy vegetable image classification system aimed at smart farm automation and conducted an in-depth performance analysis. In addition to the basic 3-layer CNN model, advanced deep learning models such as ResNet and Inception were employed to classify leafy vegetable images, and the performance of each model was compared. The dataset used for the study consisted of high-resolution images captured in a smart farm environment, along with publicly available datasets. Various preprocessing and data augmentation techniques were applied to maximize the effectiveness of model training. As a result, the deep learning-based classification system demonstrated higher accuracy and efficiency compared to traditional deep learning approaches based on original data. It was confirmed that the system could contribute to improving productivity and reducing costs through smart farm automation. This research is expected to play a key role in advancing smart farm technologies and contribute to laying the technological foundation for the future of agricultural automation.

Key Words : Smart farm, leafy vegetables, deep learning, automation, agriculture, image processing, machine learning

*Corresponding Author :Hongsuk Park(avipak@kumoh.ac.kr)

Received September 11, 2024

Accepted September 24, 2024

Revised September 20, 2024

Published September 28, 2024

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 필요성

현재 우리나라의 엽채류 재배는 기후변화로 작물의 재배 적지가 바뀌고 있다. 기후위기 적응을 위한 지속가능한 농업 전략 포럼(2050탄소중립녹색성장위원회-농림축산식품부 공동)[1]에서는 현재 지구 온도상승과 더불어 전 세계적으로 기후 변화(폭염, 폭우, 가뭄)가 발생하고 있으며 이로 인해 과실, 엽채류 등의 작물들이 생존할 수 있는 지역의 변화가 일어나고 있다고 보고했다.

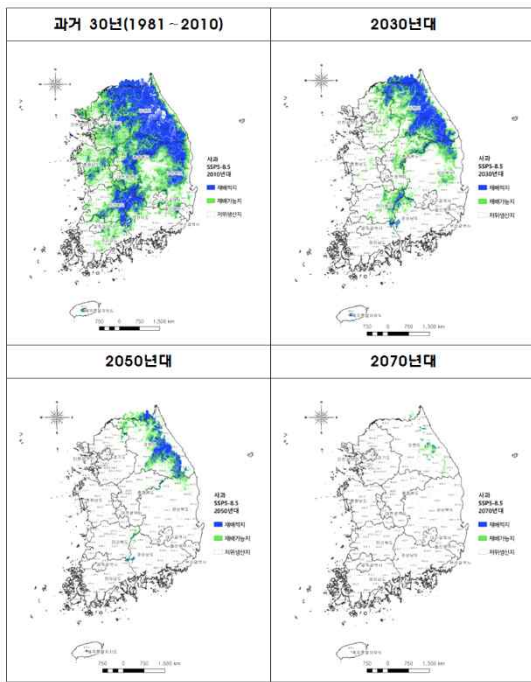


Fig.1 Potential Suitable Areas for Apple Cultivation

또한 온난화대응 농업연구소에 따르면 사과를 기준으로 Fig.1 과 같은 재배적지 변화가 일어날 것을 예상하고 있고 작물 적지는 지속적으로 생산량은 감소하고 있다. 생산 측면에서도 우리나라는 엽채류의 재배면적과 생산량에 지속적인 변화가 일어나고 있다. Fig.2, Fig.3은 통계청의 20년간 엽채류 재배면적과 생산량의 감소를 보여주고 있다. 다음과 같이 사과만 감소하는 것이 아니라 엽채류도 기후 변화에 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

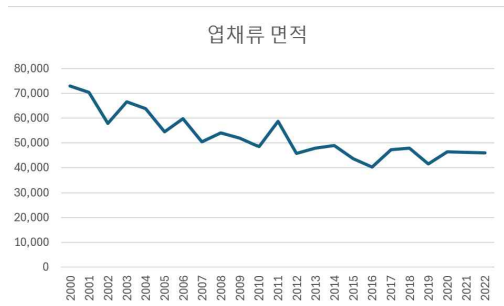


Fig.2 Yearly Cultivation Area for Leafy Vegetables

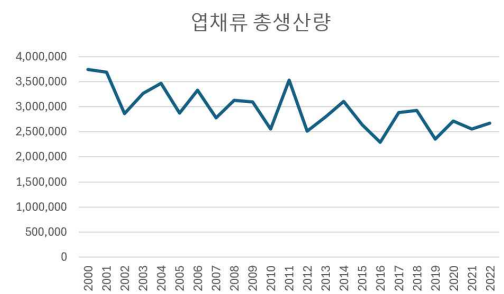


Fig.3 Yearly Production Volume of Leafy Vegetables

상황에 맞추어 작물 재배에 다양하고 고도화된 과학 기술이 접목되게 있다. 예를 들어 작물의 성장을 카메라로 실시간으로 인식하여 생장에 있어 유리한 환경으로 만들어주고 질병을 예측하여 필요한 농약을 찾아주는 등의 연구가 계속해서 진행되고 있다.

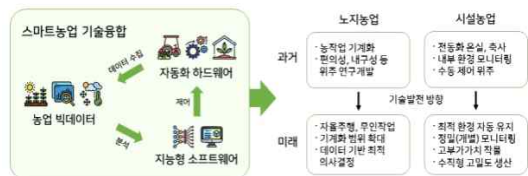


Fig.4 Changes in Agriculture: Past and Future

이와 더불어, Fig.4와 Fig.5는 [KISTEP 기술동향브리프] 스마트농업[2]의 최신 기술 동향을 보여주고 있으며, 최근 스마트 팜 농업 기술에 많은 발전이 이루어지고 있음을 설명한다. 『스마트 팜 기술 현황과 표준화 동향 분석』 [3]에 따르면, 벼 농사의 경우 기계화율이 높은 편이고, 대규모 스마트 농업을 적용하기에 유리하지만,

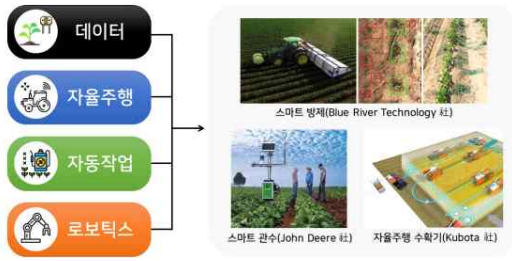


Fig.5 Recent Trends in Smart Farm Technology

다른 작물의 경우 농지 규모와 작물 종류 등 다양한 요인 때문에 기계화나 자동화에 어려움이 있다. 또한, 알맞은 시기에 적절한 양의 물을 자동으로 공급하여 토양의 상태를 조절하여 너무 많지도 적지도 않게 관리하는 스마트 관수 등 지능형 노지 농업 분야 기술 수준은 해외와 비교할 때 한, 두 단계 정도 늦어지고 있다.

위와 같은 상황에서 농업 인력 부분에서도 다양한 문제점이 나타나고 있다. 과거 두레와 품앗이를 통해 농업 현장의 인력 부족 문제와 지역 사회의 현안을 논의하는 기지를 보였지만 산업 혁명 이후 농업 또한 하나의 산업이 되면서 소규모 가족 영농에서 시장을 지향하는 품목 전문 및 규모화가 활발히 진행되고 있다.

이러한 농업환경에서 품앗이, 두레, 계는 가치를 잃고, 농업 인력 부족이라는 어려운 현실에 처하게 됐다. 농업인 가구는 지속적인 감소추세로 1970년대 248만 3,000여 농가에서 2009년 119만 4,000농가로 감소하였으나, 농가 별 경지면적은 1~1.5ha 감소하는 반면, 7ha 이상의 규모 화한 농가는 지속적으로 증가하고 있다(농경 나눔 터 농정 포커스[4]).

위와 같이 기후 변화로 인해 농업 환경은 점점 더 불안정해지고 있으며, 특히 엽채류와 같은 민감한 작물의 재배는 더욱 어려워지고 있다. 기존의 전통적인 농업 방식만으로는 이러한 변화에 적절히 대응하기 어렵기 때문에, 스마트팜과 같은 고도화된 기술의 도입이 필수적이다.

1.2 연구의 목적

본 논문은 엽채류의 특성에 기인한 지구환경 변화와 인력 부족 및 스마트팜 발전에 대응하기 위한 엽채류 이미지 학습 딥러닝 기술을 평가하는 것을 목적으로 한다. 밭에서의 노동력 보장을 위해 카메라를 활용하여 엽채류를 분류하는 성능을 평가하고자 한다. 이전의 연구에서는 한 종류 이상의 작물에서 질병을 예측하는 연구가 진행되었지만, 이러한 연구들이 실제 농기계 개발 및 필요한 노동력 감소에 얼마나 기여할 수 있는지에 대한 충분한 기술적 평가가 이뤄지지 않았다.

기후 변화는 전 세계 농업 생산 시스템에 잠재적인 영향을 미칠 수 있는 중요한 현상이다. 기후 변화로 인한 불규칙한 날씨 패턴은 자연적 요인과 인위적 요인 모두에서 비롯된다. 여러 글로벌 기관들은 2050년까지 기후 변화와 관련된 영향으로 인해 매 10년마다 총 농업 생산량이 2% 감소할 것으로 예측하고 있다[5].

이와 같이 엽채류는 기후변화에 영향을 받고 농업인력의 감소 또한 진행되고 있음으로 지속 가능한 농업의 실현을 위해 다음 연구의 필요성을 제시할 수 있다.

1.3 연구 방법

본 연구에서는 딥러닝 기술을 활용하여 스마트팜에서의 엽채류 재배를 최적화하는 방법을 제안한다. 이를 위해 ResNet, CNN, 그리고 Inception 모델을 사용하여 다양한 엽채류 이미지를 분류하고, 기후 변화로 인해 발생하는 질병을 조기 예측하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 데이터셋은 실제 스마트팜 환경에서 촬영된 엽채류 이미지뿐만 아니라 캐글, 해외사이트 등으로 구성되었으며, 이를 딥러닝 모델에 적용하여 특징을 추출하고 학습을 진행하였다. 또한, 데이터의 변형과 증식을 통해 모델의 성능을 향상시키고, 다양한 농업 조건에서의 모델의 유효성을 검증하였다. 마지막으로, Grad-CAM을 이용하여 모델의 해석 가능성을 확보하고, 실제 농업 환경에서의 활용도를 높였다.

2. 관련 연구

Chitranjan Kumar & Vipin Kumar [6]는 25 가지 야채 잎 샘플을 대상으로 이미지를 활용하여 식별을 수행했다. DT(Decision Tree), LR(Linear Regression), SVM(Support Vector Machine), MLP(Multilayer Perceptron), KNN(K-Nearest Neighbors), NB(Naive Bayes) 등과 같은 다양한 분류기를 사용했다. 이 모델들은 이미지 데이터를 입력으로 받아서 각 야채 카테고리에 대한 분류를 수행했다. 그러한 연구를 통해 머신 러닝 기법이 야채 식별 분야에서 얼마나 유용한지와 성능을 평가했다. 모델 학습 후 정확도(Acc), 정밀도(PR), 재현율(Re), F1 점수(F1-S)를 통해 모델을 평가하였다. 결과는 MLP가 90.68%의 정확도로 다른 분류기보다 더 나은 성능을 발휘했음을 보여준다.

Shanwen Zhang 등 [7]은 색상 정보를 활용하기 위해 새로운 삼색 채널 합성곱 신경망(TCCNN) 모델이 개발되었다. 이 모델은 RGB 병든 잎 이미지의 세 가지 색상 구성 요소를 결합하여 구성하였다. 모델에서 TCCNN의 각 채널은 RGB 병든 잎 이미지의 각각의 세 색상 구성 요소로부터 입력을 받는다. 각 CNN의 합성곱 특징은 차례로 다음 Conv 층과 Pooling 층으로 전달되며, 그런 다음 특징은 완전 연결 융합 층을 통해 결합되어 깊이 수준의 질병 인식 특징 벡터를 얻는다. 마지막으로, SoftMax 레이어가 특징 벡터를 사용하여 입력 이미지를 사전에 정의된 클래스로 분류한다. 제안된 방법은 복잡한 병든 잎 이미지에서 대표적인 특징을 자동으로 학습하고 작물 질병을 효과적으로 인식할 수 있다. 실험 결과는 제안된 방법이 작물 잎 질병 인식의 최신 기법들보다 우수한 성능을 발휘한다는 것을 검증한다.

Raj 등 [8]은 식물 분류를 위한 이중 딥러닝 아키텍처를 제안했다. 이 작업은 자체 데이터 세트인 Leaf 12 내에서 수행되었다. Mobile Vision Application을 위한 Efficient Convolutional Neural Network(MobileNet)과 Densely Connected

Convolutional Networks-121(DenseNet-121)이 제안된 작업에 활용되었다. 제안된 MobileNet과 LR 분류기를 갖춘 DenseNet-121의 결과는 최대값을 달성했다. 다른 사전 훈련된 모델들과 비교했을 때 정확도가 높았다. 또한, 제안된 이중 딥러닝 아키텍처는 다른 사전 훈련된 신경망 및 다른 신경망보다 계산적으로 더 효율적이었다.

M. Rashid 등 [9]은 분류에 앞서 Python의 OpenCV 활용에 대한 평가를 보여주고 있다. 이 작업의 주요 목표는 잎 이미지에서 병든 부분을 필터링하는 것이었다. 저자들은 나뭇잎 이미지에서 병든 부분을 분리하기 위해 OpenCV를 이용한 이미지 처리 기법을 제안하고 구현했다. 밀 이미지에 대해 전경 추출, 가장자리 감지, 색상 필터링, 그리고 가장자리 감지와 색상 필터링의 조합이 수행되었다. 그 결과, 이미지에서 실제로 녹병으로 인해 손상된 부분이 확인되었다. 이 연구 작업은 결과가 작더라도 특정 그룹의 사람들이 농업 분야의 작업 흐름을 개선하는 데 확실히 도움이 될 것이다. 또한, 이 연구는 농부들이 밀 작물의 질병을 조기에 발견하여 작물 수확량을 향상시키는 데 기여할 것이다.

3. 데이터 및 파라미터

3.1 데이터 셋

학습 데이터는 AI-HUB와 Kaggle, 공개 데이터 등에서 가져와 구성하였다. 총 데이터는 클래스는 7이며 Table.1과 같이 양배추, 상추, 겨자, 근대, 시금치, 썩갯, 케일로 이루어져 있다. 원천 데이터의 수가 굉장히 많으나 특징이 비슷하거나 같은 사진들을 제거하고 서로 다른 이미지들로 구성하였다. 가장 적은 데이터의 경우 시금치로 150개가 존재하여 데이터 수를 150개로 통일하여 진행하였다.

Table.1 Data class

시금치	근대	겨자	케일	썩갯	양배추	상추
						

이미지는 국내와 국외 데이터로 나누어져 있으며, 각 이미지에는 미리 부착된 라벨이 부여되어 있다. 이 라벨은 학습 데이터셋을 구성함에 있어 이미지의 특징과 속성을 명확히 구분하고자 함을 나타내며, 모델의 학습을 더욱 효과적으로 이끌어낼 것으로 예상된다. 또한 데이터의 수를 생각하여 Table.2는 데이터 분할에 대한 내용이며 150개의 이미지를 3:1:1로 나누어 진행하였다.

Table. 2 Data Splitting

분류	시금치	근대	겨자	케일	속갓	양배추	상추
Train	90	90	90	90	90	90	90
Val	30	30	30	30	30	30	30
Test	30	30	30	30	30	30	30

3.2 데이터 전처리

이미지 데이터의 해상도는 224x224 크기로 일치시켰으며, 이는 딥러닝 모델에서 가장 널리 사용하는 해상도 크기이다. 또한 학습 데이터의 수가 제한적이므로 데이터 증강을 통해 데이터를 보강하였다. 엽채류 이미지의 특성상 과도한 왜곡이나 변형은 혼동을 일으킬 수 있기 때문에, 수직 이동과 회전 변환을 10%의 비율로 적용하여 이미지를 증강하였다.

학습 결과, 원본 데이터의 경우 Fig.6와 Fig.7에서 나타난 바와 같이 훈련 데이터와 검증 데이터에서는 과적합이 발생했으나, 테스트 데이터에서는 성능이 떨어짐을 확인하였다.

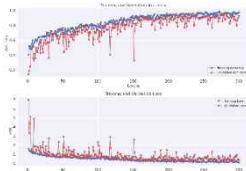


Fig.6 Acc, Loss

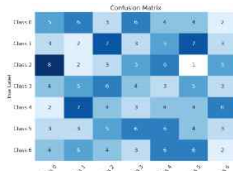


Fig.7 Confusion Matrix

이를 해결하기 위해, 전처리 과정에서 이미지의 변환과정을 가졌고 히스토그램 평활화(Histogram Equalization), 소벨 필터(Sobel Filter), 카니 에지 검출(Canny Edge Detection), 라플라시안 필터(Laplacian Filter) 4가지 기법을 통해 이미지가 가진 특징을 최대화하고자 하였다.

3.2.1 히스토그램 평활화

히스토그램 평활화는 이미지의 명암 대비를 향상시키기 위해 사용되는 기법으로, 이미지의 히스토그램을 평탄화하여 픽셀 값이 보다 균일하게 분포되도록 한다.

$$s_k = T(r_k) = \left(\frac{L-1}{M \times N} \right) \sum_{j=0}^k n_j$$

- s_k는 변환된 픽셀 값,
- r_k는 원본 픽셀 값,
- L은 그레이스케일 레벨의 수,
- M×N은 이미지의 픽셀 수,
- n_j는 픽셀 값 r_j의 히스토그램 빈(bin) 값을 나타낸다.

3.2.2 소벨필터

소벨 필터는 이미지의 에지를 검출하기 위한 1차 미분 연산자다.

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

- x,y는 축 방향의 변화율을 나타낸다.

3.2.3 카니 엣지 검출

카니 엣지 검출은 노이즈 감소, 그라디언트 계산, 비 최대 억제, 히스테리시스 임계값 등의 단계를 포함하는 다단계 에지 검출 알고리즘이다. 가우시안 블러링을 통해 노이즈를 감소시킨다. 여기서 G는 가우시안 커널이다.

$$I_{blur} = I * G$$

$$G_x = I_{blur} * \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}, \quad G_y = I_{blur} * \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix}$$

소벨 필터를 사용하여 그라디언트를 계산한다. 그라디언트의 최대값을 따라 에지를 억제하며 두 개의 임계 값을 설정하여 에지를 추출한다.

3.2.4 라플라시안 필터

라플라시안 필터는 이미지의 2차 미분 연산자로, 에지와 같은 급격한 변화 부분을 강조한다.

$$L = \nabla^2 I = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2}$$

2D 라플라시안 커널을 통해 이미지의 에지 부분을 강조하여 에지 검출한다.

3.3 딥러닝 모델 및 학습 방법

본 논문에서는 농업 분야에서 발생하는 문제 중 하나인 노동력 부족과 스마트 팜 기술의 발전에 대응하기 위해 엽채류의 개별 특성을 이용한 방법들에 대해 설명한다. 이전의 엽채류 연구에서는 잎 하나만 객체 검출하거나 알려진 질병을 예측하는 것과 관련된 주제가 다뤄졌지만, 이러한 연구들이 농기계 개발에 어떻게 기여할 수 있는지에 대한 명확한 기술적 평가가 부족한 실정이다. 이에 본 논문은 엽채류의 특성에 주목하고, 스마트 팜 기술과의 접목을 통해 농기계의 자동화 및 효율화를 제안한다. 이를 위해 Conv2D의 3개층으로 이루어진 간단한 모델과 Inception, Res Net이라는 전이학습 아키텍처를 사용하였고 전이학습으로 가중치를 가져온 것이 아닌 모델만 가져와 변형하여 사용하였다.

3.3.1 2D Convolution

2D Convolution은 이미지 처리와 패턴 인식에서 널리 사용되는 기술이다. 이 기술은 입력 이미지와 필터 사이의 픽셀 단위 계산을 통해 새로운 이미지를 생성한다. 필터는 Fig.8과 같이 입력 이미지를 훑으면서 특징을 감지하고, Convolution 연산을 통해 출력 이미지에 해당 특징을 강조한다. 이를 통해 이미지의 특징, 예를 들어 가장자리, 질감 또는 패턴과 같은 고수준의 시각적 정보를 추출할 수 있다. Convolution 2D는 딥 러닝에서 주로 사용되며, 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN)에서 이미지의 특징을 추출하기 위한 핵심 구성 요소로 작용한다. 이를 통해 컴퓨터 비전 및 이미지 인식 분야에서 많은 성과를 이루고 있다.

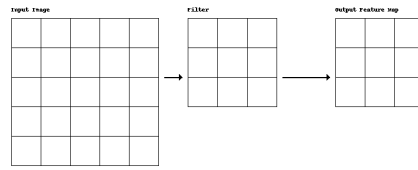


Fig.8 2D Convolution

3.3.2 Inception

Inception 아키텍처는 Google에서 개발한 딥러닝 모델로, 각 레이어에서 다양한 크기의 필터를 동시에 사용하여 특징을 추출하는 것이 특징이다. 이를 통해 모델은 다양한 스케일에서 정보를 수집할 수 있다. Inception 모듈은 여러 개의 Conv2D 레이어(1x1, 3x3, 5x5 필터)와 Max Pooling 레이어를 Fig.9과 같이 병렬로 배치하여, 각 출력들을 연결(concatenate)한다. 이러한 구조는 네트워크가 보다 풍부한 표현력을 가질 수 있게 하며, 연산 효율성도 높인다.

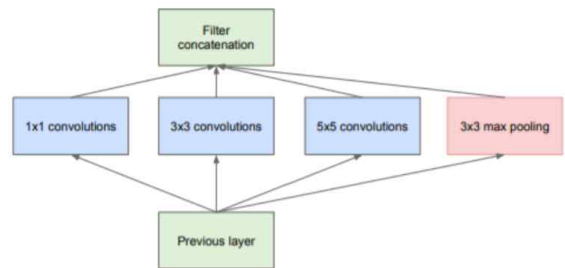


Fig.9 Inception

3.3.3 ResNet

ResNet(Residual Network)은 Microsoft에서 개발한 딥러닝 모델로, 매우 깊은 네트워크에서도 학습이 가능한 구조를 제공한다. ResNet의 핵심 아이디어는 Fig.10과 같이 '스킵 연결(skip connections)'을 도입하여 네트워크의 레이어를 건너뛰는 것이다. 이를 통해 네트워크가 깊어져도 그라디언트 소실 문제를 해결할 수 있다. ResNet은 50, 101, 152개의 레이어로 구성된 다양한 변형이 있으며, 이미지 분류 및 인식 작업에서 뛰어난 성능을 보인다.

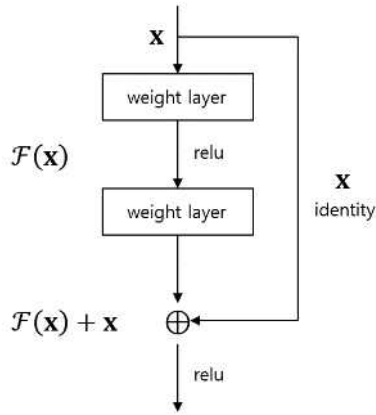


Fig.10 ResNet

3.4 제안된 아키텍처들의 매개변수
 제안된 모델들은 Learning rate를 [adam, 0.0001])으로 설정하였으며, 활성화 함수로는 Softmax를 사용했다. Epoch는 300이상으로 변경하여 실험을 진행하였으며, 배치 크기는 16으로 설정했다. Epoch 값을 다양하게 변경하여 실험을 수행하였으며, 최종적으로 Epoch를 450으로 설정했다.

4. 평가 및 분석

4.1 훈련 및 테스트 데이터 분할

제안된 모델은 다양한 비율로 훈련되고 테스트되었다. 전체 데이터 세트에는 1050개의 이미지가 포함되어 있으며 데이터 증강이 이루어진 상태이다. 다음 표는 훈련 데이터와 검증 데이터의 결과를 비교한 것이다. 훈련 정확도와 손실, 테스트 정확도와 손실 등을 비교하였으며, 전체 학습 횟수에 따른 적합 파라미터도 비교하였다. Val의 정확도와 손실의 결과값으로 나열하였고 성능을 그래프로 비교하였다.

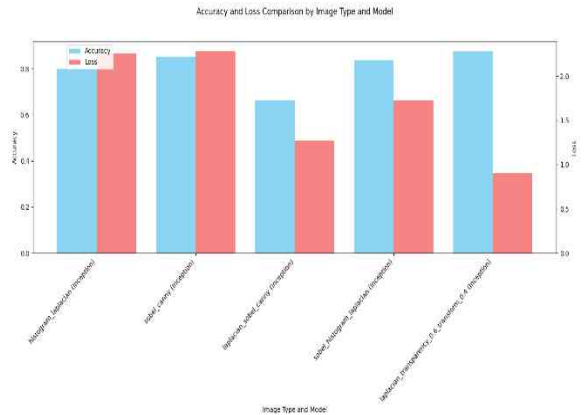


Fig.11 Results of Various Image Transformation Techniques

Fig.11은 인셉션 모델에서 사용되었으며 이미지 변형 방법을 여러가지 학습해본 결과이다. 라플라시안과 카니에서 정확도가 높게 나온 것을 볼 수 있으나 Loss가 낮고 정확도가 가장 낮은 파라미터를 수정한 라플라시안의 방법이 가장 결과가 좋게 나오는 것을 알 수 있다.

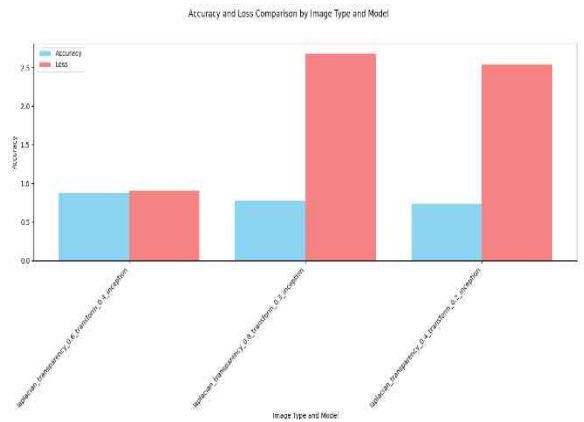


Fig.12 Optimal Transformation and Transparency for Laplacian Filter Application

Fig.12는 위에서 설명한 기본 모델로 테스트 되었으며 라플라시안을 적용하기 위해 원본 이미지의 투명도와 변환율을 조절하여 가장 적합한 값을 찾는 학습결과를 보여준다. 변환율 0.6, 투명도 0.4에서 가장 좋은 결과가 나온 것을 알 수 있다.

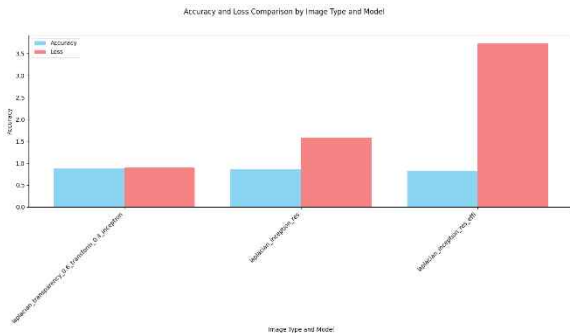


Fig.13 Three deep learning model

Fig.13는 다양한 딥러닝 방법을 사용하였으나 인셉션 방식이 가장 적절하게 나오는 것을 알 수 있었다.

4.2 최종 모델 구조

최종적으로 투명도 0.6, 변환율 0.4로 설정하여 라플라시안을 실행하였고 인셉션 모델의 구조를 가져와 4개층으로 이루어진 인셉션 구조를 사용하였다. 마지막으로 예폭은 450을 사용하였고 학습 결과는 Fig.14, Fig.15, Table.3와 같다.

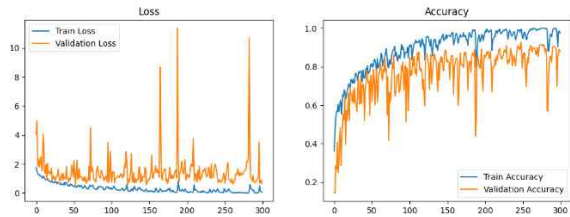


Fig.14 Acc, Loss

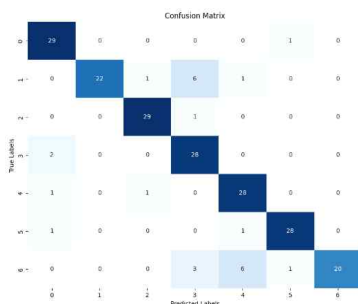


Fig.15 Confusion Matrix

Table.3 F1 score

Classification Report				
	precision	recall	f1-score	support
0	0.88	0.97	0.92	30
1	1.00	0.73	0.85	30
2	0.94	0.97	0.95	30
3	0.74	0.93	0.82	30
4	0.78	0.93	0.85	30
5	0.93	0.93	0.93	30
6	1.00	0.87	0.80	30
accuracy			0.88	210
macro avg	0.89	0.88	0.87	210
weighted avg	0.89	0.88	0.87	210

Fig.15, Table.3에서 볼 수 있듯이, 대부분의 클래스에서 분류가 잘되며 F1 점수가 높게 나타나고 있다. 특히, 클래스 2와 클래스 5는 각각 0.95와 0.93의 높은 F1 점수를 기록하고 있다. 이는 해당 클래스에서 모델의 예측이 매우 정확하다는 것을 나타낸다. 또한, 클래스 0, 1, 3, 4, 6 역시 비교적 높은 F1 점수를 보여주고 있다. 이는 모델이 전반적으로 안정적인 성능을 발휘하고 있음을 나타낸다.

전반적으로, 모델의 평균 F1 점수는 0.87로 나타났다. 이 수치는 모델이 모든 클래스에서 균형 잡힌 성능을 보여주고 있음을 나타내며, 특히 클래스 불균형이 존재하는 데이터셋에서 유용한 평가 지표가 된다.

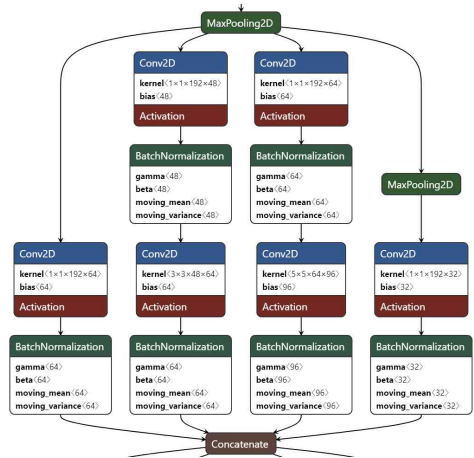


Fig.16 Inception Layer

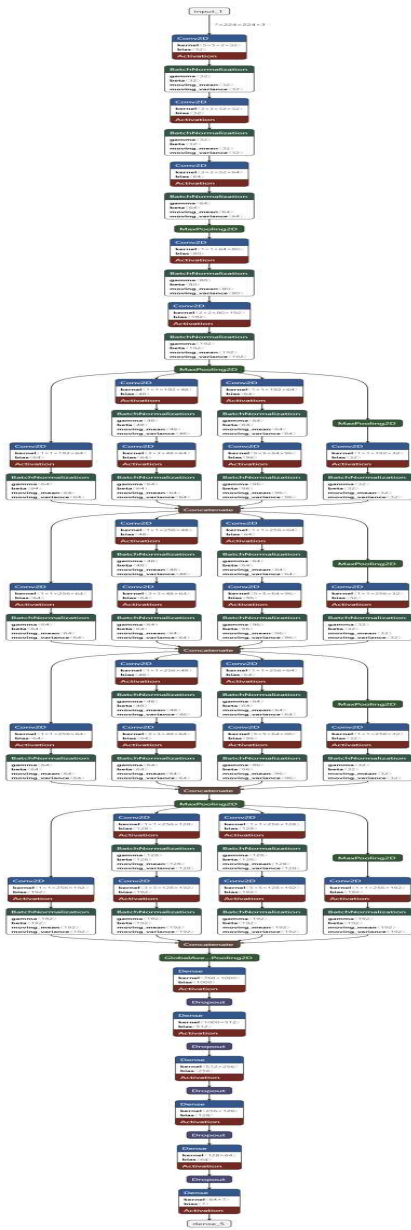
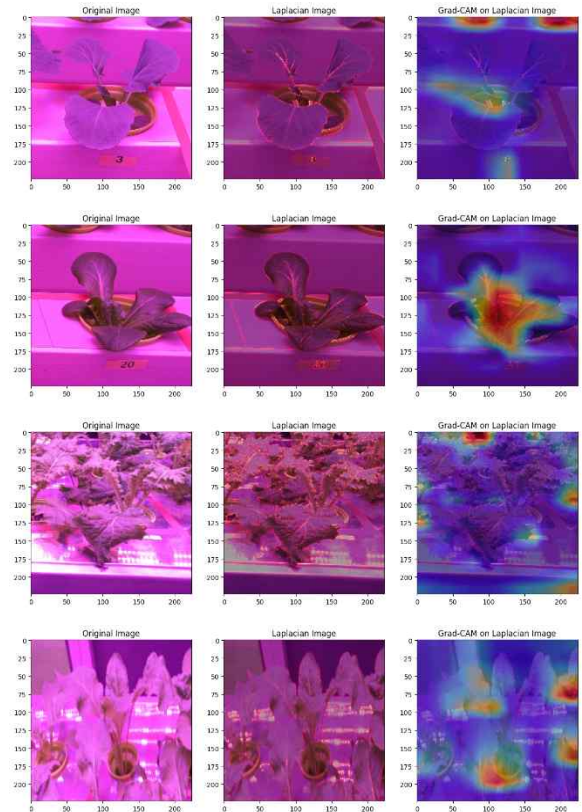


Fig.17 Final Model

Fig.17과 같이 하나의 층에서 4개의 서로 다른 컨볼루션 층으로 나뉘었다가 합쳐지는 Fig.16과 같은 구조를 가지고 있다. 또한 분류 모델의 성능을 높이기 위해 마지막에 Dense층을 추가하였다.

4.3 Grad -CAM

Grad -CAM은 Gradient - weighted Class Activation Mapping의 약자로, 딥러닝 모델이 이미지 분류를 수행할 때 어떤 부분이 주어진 클래스에 대한 예측에 가장 중요한 영향을 미치는지의 시각화 기술이다. 이 기술은 모델이 어떤 부분을 보고 특정 클래스를 식별하는지를 해석하기 위해 사용된다. 기본적으로, Grad-CAM은 모델의 마지막 컨볼루션 레이어에서 추출된 특징 맵에 대한 그래디언트를 계산하여 각 특징 맵의 중요도를 파악한다. 그런 다음, 이 중요도를 기반으로 원본 이미지에 가중치를 적용하여 어떤 부분이 모델의 예측에 가장 영향을 미치는지를 시각적으로 표현한다. 이를 통해 모델이 특정 클래스를 분류하기 위해 어떤 시각적 특징을 고려하는지를 이해할 수 있다. Grad-CAM은 이미지 분류 모델의 해석 가능성을 향상시키는 데 도움이 되는 중요한 도구 중 하나이다.



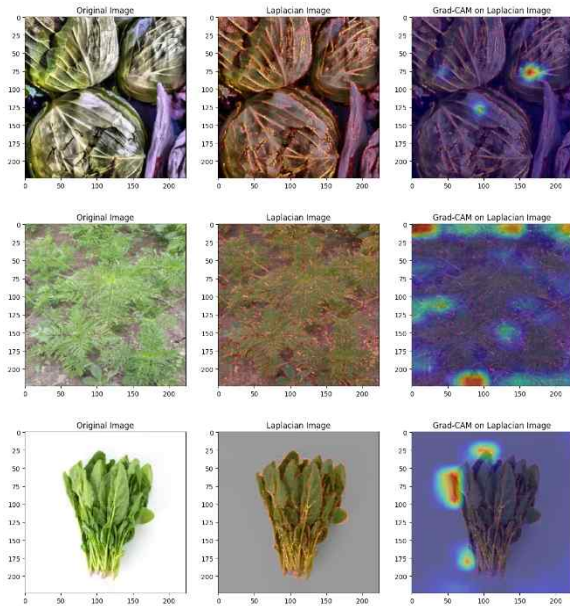


Fig.18 Grad-CAM

가장 테스트 셋의 정확도가 높은 것으로 진행하였다. Fig.18과 같이 해석해 볼 수 있다. 1열은 원본, 2열은 라플라시안 적용, 3열은 특징맵을 나타낸다. 각 엽채류의 잎 쪽에서 특징추출이 되는 것을 알 수 있었으며 잎에서의 특징으로 분류가 잘되고 있음 알 수 있다.

5. 결론

딥러닝은 데이터 분석의 정확성을 높이기 위해 가장 널리 사용되는 연구 알고리즘이다. 시금치를 인식하거나 분류하는 것은 시금치 잎의 모양 때문에 어려운 작업이다. 최근 몇 년 동안 많은 연구자들이 식물 이미지를 보다 안정적으로 분류하기 위한 다양한 머신러닝 및 딥러닝 기술을 제시했다.

본 논문에서는 딥러닝을 활용하여 엽채류 이미지를 분류하는 방식을 개선하였다. 특히, 라플라시안 필터를 적용하여 이미지의 시각적 품질을 향상시킨 후, 이를 딥러닝 모델에 적용했을 때 더욱 높은 분류 정확도를 얻을 수 있었다. 또한, 다양한 딥러닝 아키텍처 중 인셉션 모델을 사용한 실험에서 가장 높은 정확도를 기록하며, 엽채류 이미지 분류에서 뛰어난 성능을 보였다.

또한 딥러닝 기술을 활용하여 엽채류 재배에 대한 새로운 접근 방식을 제시한다. 기후 변화로 인한 농업 환경의 불안정성에 대응하기 위해 스마트팜 기술과 딥러닝을 결합하여 농업 생산성을 향상시키는 가능성을 탐색하였다. 연구 결과는 딥러닝 기법이 엽채류의 분류 그리고 농기계의 자동화와 효율화에 획기적인 기여를 할 수 있음을 보여주었다. 특히, 스마트폰을 활용한 실시간 인식 기능은 농업 현장에서의 실용성을 높였다.

향후 연구 방향으로서는 더욱 정교한 딥러닝 모델의 개발과 적용이 중요할 것이다. 농업 분야에서의 딥러닝 기술은 계속해서 발전해야 하며, 효율적인 재배 관리를 위한 심층적인 연구가 필요하다. 또한, 보다 효과적인 스마트팜 시스템의 구축을 위해 센서 기술과의 통합, 데이터 분석 및 의사 결정 지원 시스템의 개발 등이 중요한 과제로 제시됩니다. 이러한 연구들이 농업의 지속 가능성을 높이고 기후 변화에 대응하는데 기여할 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] S. K. Kim. (2023). Climate change has significant effects on agriculture in several ways: How to predict it?. *2050 Carbon Neutrality and Green Growth Committee & Ministry of Agriculture Faum*. Retrived from : https://www.2050cnc.go.kr/storage/board/base/2023/11/10/BOARD_ATTACH_1699599840812.pdf
- [2] S. J. Lee. (2022). The future of agriculture is driven by data and technology, *Smart Agriculture. KISTI ISSUE BRIEF 40*. Retrived from : <https://repository.kisti.re.kr/bitstream/10580/17041/1/KISTI%20%EC%9D%B4%EC%8A%88%EB%B8%8C%EB%A6%AC%ED%94%84%20%EC%A0%9C40%ED%98%B8.pdf>
- [3] S. Kim. & H. Yoe. (2022). Trend and Standardization of Smart Farm Technology, *The Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 47(11), 1965-1973
DOI : 10.7840/kics.2022.47.11.1965

- [4] K. S. Gwak. (2011). Agricultural Labor Challenges and Solutions. *Agricultural policy focus* 3. Retrived from : <https://www.krei.re.kr/krei/selectBbsNttView.do?key=109&bbbsNo=75&nttNo=124440>
- [5] S. K. Annapu, S. A. Nair, S. Thakur, & V. Verma. (2021). *Climate Change and Resilient Food Systems*. Springer.
DOI : 10.1007/978-981-33-4538-6
- [6] C. Kumar. & V. Kumar. (2023). *Advances in Distributed Computing and Machine Learning*. Springer.
DOI : 10.1007/978-981-99-1203-2_44
- [7] S. Zhang. W. Huang & C. Zhang. (2019). Three-channel convolutional neural networks for vegetable leaf disease recognition. *Cognitive Systems Research*, 53, 31-41.
DOI : 10.1016/j.cogsys.2018.04.006
- [8] A. P. S. S. Raj. &S. K. Vajravelu. (2019). DDLA: Dual deep learning architecture for classification of plant species. *IET*, 13(12), 2176-2182. DOI : 10.1049/iet-ipr.2019.0346
- [9] M. Rashid. B. Ram. R. S. Batth. N. Ahmad. H. M. E. I. Dafallaa. & M. B. Rehman. (2019). Novel Image Processing Technique for Feature Detection of Wheat Crops using Python OpenCV. *International Conference on Computational Intelligence and Knowledge Economy(ICCIKE)*, 559 - 563.
DOI : 10.1109/ICCIKE47802.2019.9004432

임지훈(Ji-Hun IM)**[정회원]**

· 2019년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교
기계시스템공학부 학사과정

· 관심분야 : 딥러닝 및 임베디드
· E-Mail : wlgns7785@kumoh.ac.kr

박홍석(Hongsuk Park)**[정회원]**

· 1996년 2월 : 육군사관학교 병기공학 (공학사)
· 2005년 2월 : 서울대학교 기술정책 (공학석사)
· 2011년 7월 : Texas A&M 산업공학 (공학박사)
· 2022년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 산학협력단 교수

· 관심분야 : 국방정책수립, 방산R&D, 기술컨설팅
· E-Mail : avipak@kumoh.ac.kr