

축구와 컴퓨터과학

2020920032 컴퓨터과학부 석우진

1. 서론

축구 산업은 세계적으로 막대한 팬층과 자본을 보유한 거대한 비즈니스로 성장해 왔습니다. 이러한 발전 과정에서 컴퓨터 과학 기술은 축구와 긴밀히 접목되어 새로운 혁신을 이끌고 있습니다. 데이터 분석과 인공지능, 시뮬레이션, 클라우드 컴퓨팅 등 첨단 IT 기술이 축구의 경기 전략부터 판정, 팬 서비스까지 다양한 영역에 영향을 미치고 있습니다. 예로, 한 경기에서 발생하는 수백만 개의 데이터 포인트를 분석해 숨은 패턴을 찾아내거나, 인공지능을 활용해 오심을 줄이고자 하는 시도가 이루어지고 있습니다.

본 보고서에서는 축구를 매개로 데이터 기반 전략, VAR과 딥러닝 판독, 축구 게임 시뮬레이션 기술, 인프라와 클라우드 활용의 네 가지 주제를 중심으로, 컴퓨터 과학의 기여와 실제 사례를 살펴보겠습니다.

2. 본론

2.1 데이터 기반 축구 전략 수립

현대 축구에서는 데이터 사이언스가 선수 퍼포먼스 분석과 팀 전술 최적화에 핵심 도구로 활용되고 있습니다. 최상위 프로 경기에선 경기당 선수들의 모든 움직임과 공 접촉이 기록되어 경기당 수백만 개의 데이터 포인트가 생성됩니다. 이러한 방대한 데이터를 통해 각 선수의 주행 거리, 속도, 패스 경로, 슈팅 위치 등의 정보를 정밀 분석함으로써, 팀은 기존에 보이지 않던 인사이트를 얻을 수 있습니다. 예를 들어 기대 득점(xG), 압박 강도(PPDA), 패스 성공률 등의 지표는 팀의 공격 효율과 수비 조직력을 객관적으로 평가하여 전술적 의사결정을 최적화하는 데 사용됩니다. 과거에는 코치의 경험과 직관에 의존하던 전략 수립이 이제는 데이터에 기반해 과학적으로 뒷받침되고 있는 것입니다.

특히 데이터 분석은 선수 영입과 육성에도 큰 영향을 미치고 있습니다. 방대한 경기 통계를 머신러닝으로 처리하여 숨은 재능을 발견하고, 상대적으로 저평가된 선수를 찾아내는 머니볼식 접근법이 축구계에 자리 잡았습니다. 영국 프리미어리그의 브렌트포드(Brentford)와 브라이턴(Brighton)은 이런 데이터 중심 전략의 성공 사례로 자주 언급됩니다. 이들은 막대한 자금을 지닌 명문구단들과 경쟁하기 위해 통계와 알고리즘에 기반한 선수 스카우팅과 전술 분석을 도입했고, 그 결과 비교적 적은 예산에도 2022-23 시즌 프리미어리그에서 각각 9위와 6위의 성과를 거두었습니다. 이렇게 데이터 사이언스를 적극 수용한 팀들은, 경기 내용과 성과를 수치화하고 패턴을 발견함으로써 전술적인 우위를 점하고 있습니다.

또한 리버풀은 2012 년 **Dr. Ian Graham** 을 디렉터로 영입하면서 데이터 혁신을 본격화하기도 했습니다. Graham 은 선수의 득점 · 어시스트 이후 확률을 전 행동(패스·차단·탈취 등)마다 계산하는 **확률 기반 퍼포먼스 모델**을 개발했고, 이는 클럽 감독의 ‘게겐프레싱’ 시스템에 적합한 선수를 정밀 선별하는 데 활용됐습니다. 모델의 핵심 변수는 다음과 같았습니다.

- **xG/xA** (기대 득점·기대 어시스트)
- **프레싱·역습에 필요한 수비·탈압박 지표**
- **포지셔닝·경기 상태별(리드/동점/열세) 기여도**
- **부상 이력과 피지컬 데이터(최고 속도·스태미너)**

이 분석 프레임으로 리버풀은 **모하메드 살라(£36.9 m)**, **사디오 마네(£34 m)**, **호베르투 피르미누(£29 m)** 같은 저평가 자산을 발굴했고, **필리페 코치뉴를 £142 m**에 매각해 마련한 재원으로 **판 다이크·알리송**을 영입해 전력을 완성했습니다. 그 결과 2019-20 시즌 프리미어리그 우승, 챔피언스리그 우승(2019) 등 ‘빅 클럽’ 대비 낮은 이적료로 최대 성과를 거둔 대표적 **데이터 중심 전략의 성공 사례**로 평가됩니다.

경기 전략 수립에 데이터가 활용되는 방식은 다양합니다. **선수 퍼포먼스 분석** 측면에서는, GPS 트래커나 RFID 칩이 선수들의 움직임 데이터를 실시간 수집하고, 이를 통해 체력 소모나 포지셔닝 효율을 평가합니다. 코치는 이러한 정보를 기반으로 선수 교체 타이밍을 결정하거나 훈련 강도를 조절하여 선수 개인의 퍼포먼스를 극대화할 수 있습니다. 또한 **비디오 분석 소프트웨어**를 활용하여 상대 팀의 경기를 면밀히 분석하고, **패스 네트워크**나 **공간 활용 패턴** 등을 시각화함으로써 다음 경기의 전술을 구체적으로 준비합니다. 이를 통해 특정 팀의 공격 빌드업 경향이나 수비 시 허점이 드러나는 지점을 파악해 맞춤형 대응전략을 세울 수 있습니다. 이처럼 데이터 기반의 접근은 축구 경기의 **사소한 디테일도 놓치지 않고 측정·분석함**으로써, 최적의 전략 수립과 경기력 향상에 기여하고 있습니다.

2.2 VAR 와 딥러닝을 활용한 판정 기술

최근 몇 년간 축구에서 **판정의 정확성**을 높이기 위한 기술로 **VAR**(Video Assistant Referee, 비디오 보조 심판)이 도입되었습니다. VAR 는 경기 진행 중 녹화된 영상을 판독하여 심판의 결정이 명백히 잘못된 경우 이를 정정할 수 있도록 한 제도로, 2018 년 월드컵 등을 기점으로 주요 리그에 빠르게 확산되었습니다. 이제 여기에 더해, **딥러닝을 비롯한 AI 기술**이 VAR 시스템에 접목되어 **비디오 판독의 속도와 정확도**를 높이고 **오심 감소**를 돕고 있습니다.

대표적인 사례로 2022 년 카타르 월드컵에서 처음 사용된 **반자동 오프사이드 판정 기술**을 들 수 있습니다. 이 시스템에서는 경기장 지붕 아래에 설치된 12 대의 전용 카메라가 초당 50 회씩 선수 개인의 **몸 각 부위 위치 데이터**를 추적하고, 동시에 공 내부에 장착된 센서가 초당 500 회씩 공의 위치와 킥 순간을 감지했습니다. 이렇게 수집된 정밀 데이터에 딥러닝 기반의 **AI 알고리즘**을 적용하여, 공이 전달되는 순간 공격수가 수비수보다 앞서 있었다면

자동으로 오프사이드 판단을 내려 VAR 심판진에게 알려줍니다. 이후 비디오 심판이 제안된 판정을 확인만 하면 되므로, 인간이 일일이 화면을 돌려보며 오프사이드 위치를 그을 필요 없이 **몇 초 내로 정확한 판정**이 내려집니다. 이 기술 덕분에 과거엔 몇 분씩 지연되던 오프사이드 판정이 신속해졌고, 결정 역시 더 일관되고 정확해졌습니다.

AI 기술은 오프사이드 외에도 **다양한 판정 상황**에 응용되고 있습니다. 예를 들어, **호크아이(Hawk-Eye)** 시스템이 인공지능 비전 기술로 공의 인·아웃을 자동 판정하고 있으며 축구에서 골라인 판독 등에 활용되고 있습니다 **골라인 테크놀로지**는 고속 카메라나 센서를 통해 공이 골라인을 완전히 넘어갔는지 즉시 판단하여 심판 시계에 신호를 보내 득점을 선언하게 합니다. 이 역시 일종의 컴퓨터 비전 알고리즘으로 인간 오심을 획기적으로 줄인 사례입니다.

더 나아가 최근 연구들은 선수의 움직임 영상을 추적하고 충돌의 물리적 강도를 분석함으로써 **파울 여부를 자동으로 판별**하려는 시도도 하고 있습니다. 딥러닝 기반 모델이 축적된 방대한 경기 영상을 학습하면, 예컨대 태클 시 접촉 지점이나 강도를 감지해 해당 플레이가 반칙인지 여부를 높은 정확도로 분류할 수 있습니다. 이러한 AI 판정 보조 시스템은 아직 초기 단계지만, **객관적 데이터에 근거한 판단**을 통해 심판의 결정을 도와줄 수 있을 것으로 기대됩니다. 또한 이는 판정의 **일관성 향상과 오심 논란 감소**로 이어져 경기의 공정성을 높일 수 있을 것입니다.

물론 AI 판정 기술이 만능은 아닙니다. 영상 인식 AI도 조명, 카메라 앵글, 선수들 간 겹침 등으로 인해 오류를 범할 수 있고, 완전 자동화에는 한계가 있습니다. 따라서 현재로서는 “인공지능+인간”의 협업 형태로 VAR가 발전하고 있습니다. AI가 실시간으로 판정 근거를 제시하면 **최종 판단은 인간 심판이 내리는 식입니다.** 그럼에도 기술이 진화하면서 VAR 판독 시간의 단축, 미묘한 상황에서의 추가 정보 제공 등 긍정적 효과가 커지고 있습니다. 가까운 미래에는 AI가 실시간으로 경기 상황을 모니터링하여 **즉각적인 피드백**을 제공함으로써, 경기가 중단되는 일 없이 자연스럽게 흐르면서도 오심 없는 경기를 기대할 수 있을 것입니다. 궁극적으로 축구 판정 분야에서 딥러닝 등 컴퓨터 과학 기술의 활용은 “명확하고 공정한 경기”라는 목표에 크게 기여하고 있습니다.

2.3 축구 시뮬레이션과 게임 개발

축구의 인기는 실제 경기장뿐 아니라 **축구 비디오게임 산업**으로도 이어져, 전 세계 수많은 팬들이 FIFA와 같은 축구 시뮬레이션 게임을 즐기고 있습니다. 이러한 게임들의 성공 배경에는 **물리 엔진, AI, 컴퓨터 그래픽스** 등 컴퓨터 과학의 총체적인 기술 발전이 자리하고 있습니다. 최신 축구 게임들은 실제 경기만큼 정교한 시뮬레이션을 제공하는데, 이는 가상 공간에서 현실의 축구 규칙과 역학을 구현해낸 결과입니다.

먼저 **물리 엔진** 측면에서, 현대 축구 게임들은 실제 공의 움직임과 선수들의 동작이 현실과 동일한 물리 법칙을 따르도록 설계됩니다. 예를 들어 EA 스포츠의 FIFA 시리즈 개발팀은 이전 버전에서 공이 비현실적으로 “**뽕 뜨는**”

현상을 수정하기 위해 공기 역학 공식을 재점검했고, 그 과정에서 공기 저항 계수와 마그누스 효과 계산에 오류가 있음을 발견했습니다. FIFA 14 버전부터 이 부분을 개선하여, 공이 차였을 때 속도가 줄어드는 양상이나 회전에 따른 궤적 휘어짐 등이 실제 축구공과 거의 같아졌습니다. 그 결과 긴 패스 시 공이 자연스럽게 낙하하고, 강하게 회전이 걸린 슛은 실감나게 휘어지며 떨어지는 등 **현실적인 볼 물리**를 구현해냈습니다. 또한 충돌 판정과 선수의 몸 싸움 등도 물리 엔진으로 계산되어, 선수들끼리 부딪힐 때의 반응이나 넘어지는 모션이 사실적으로 표현됩니다. 이런 정교한 물리 시뮬레이션 덕분에 게이머들은 게임 속에서 **공 한 톨의 움직임까지 실제 축구와 흡사한 체험**을 할 수 있게 되었습니다.

게임 AI 역시 축구 시뮬레이션의 핵심 요소입니다. 축구 게임에서는 사용자가 조작하지 않는 나머지 선수들과 상대팀이 모두 AI에 의해 움직입니다. 초기의 단순한 AI는 정해진 경로대로만 움직이거나 반복적인 패턴을 보였으나, 오늘날에는 **강화학습**이나 **진화 알고리즘** 등으로 훈련된 복잡한 AI가 적용되어 인간처럼 예측 불가능한 플레이를 펼칩니다. 예를 들어 FIFA 22에서는 “전술 AI”라는 시스템이 도입되었는데, 머신러닝과 모션캡처 데이터를 활용하여 AI 선수들이 더욱 인간적인 팀 플레이를 보이게 했습니다. 이를 통해 공격 시 AI 선수들이 **이전 버전보다 6배 더 많은 의사결정을 실시간으로 수행**하여 공간 침투나 패스 옵션을 찾고, 수비 시 **지역 방어**를 형성하는 등 실제 축구의 전술 움직임이 재현됩니다. 또 다른 혁신으로, EA는 **하이퍼모션** 기술을 통해 22명의 프로 선수들이 실제 경기에서 보여준 **800만 프레임 이상의 움직임 데이터를 AI가 학습하도록 했습니다**. 그 결과 게임 엔진이 상황에 맞는 새로운 애니메이션을 **실시간** 생성하여, 공중볼 경합 시 두 선수가 자연스럽게 몸싸움하며 공을 따내는 등 부드러운 플레이 연출이 가능해졌습니다. 이렇게 **딥러닝 기반의 애니메이션 생성** 기술은 과거에 모든 동작을 일일이 수작업으로 구현하던 한계를 넘어, 어떤 상황에서도 매끄럽고 현실적인 선수 움직임을 만들어냅니다.

마지막으로, **컴퓨터 그래픽스**의 발전 덕분에 축구 게임의 **시각적 품질**은 실제 중계 화면과 구분이 어려울 정도로 향상되었습니다. 최신 그래픽 엔진은 선수들의 얼굴과 체형을 **3D 스캔**하여 사실적으로 모델링하고, **실시간 조명 효과**, **섬세한 그림자와 질감 표현**으로 경기장의 분위기를 생생히 재현합니다. 예를 들어 게임 속 잔디는 계절과 밝힌 정도에 따라 색상과 패턴이 바뀌고, 조명에 반사되는 윤기도 실제 잔디처럼 표현됩니다. 선수 유니폼의 주름이나 땀에 젖는 효과까지 구현되어, 텔레비전 중계를 보는 듯한 몰입감을 줍니다. 또한 관중들의 움직임이나 합성 소리도 AI로 제어되어, 경기 상황에 맞춰 환호성이나 야유를 보내는 등 **환경의 디테일**도 높아졌습니다. 이러한 그래픽스와 AI, 물리 엔진의 종합적 발전으로 탄생한 축구 시뮬레이션 게임은 단순한 오락을 넘어 **축구 전술을 연구하거나 선수들의 플레이를 가상 실험**하는 도구로도 활용되고 있습니다. 실제 감독이나 선수들이 경기 전 시뮬레이션으로 전략을 점검하거나, 팬들이 게임을 통해 전략적 사고를 기르는 등 교육적인 가치도 함께 지니게 되었습니다.

2.4 인프라와 클라우드 기술의 활용

글로벌 스포츠로서 축구는 실시간 데이터 처리와 전 세계 동시 중계를 필요로 하며, 이를 위해 클라우드 컴퓨팅 인프라가 광범위하게 사용됩니다. 매 경기마다 방대한 양의 데이터(영상, 선수 트래킹, 센서 정보 등)가 생성되고 이를 거의 실시간으로 처리해야 하기 때문에, 유연한 확장성과 고성능 연산을 제공하는 클라우드의 역할이 중요해졌습니다. 특히 관중들에게 풍부한 정보를 제공하고, 코치나 해설진이 즉각적으로 데이터를 활용할 수 있도록 하는 데에 클라우드 기술이 기여하고 있습니다.

예를 들어 독일 분데스리가에서는 AWS와 협력하여 “Bundesliga Match Facts”라는 실시간 경기 통계 서비스를 운영하고 있습니다. 이 시스템은 경기 중에 발생하는 각종 데이터를 클라우드로 전송하여 **몇 초 이내에 분석 결과를 도출**하고, 이를 중계 화면 및 인터넷을 통해 전 세계 5억 명 이상의 축구 팬들에게 제공하고 있습니다. 경기 중계 도중 화면에 나타나는 **팀 별 공격 지역 비율, 슈팅 포착 확률, 선수들의 스프린트 속도** 등의 고급 통계들은 바로 이런 클라우드 기반 분석 덕분에 가능해진 것입니다. 클라우드 상의 머신러닝 모델이 수백만 건의 과거 데이터를 학습한 후 실시간 경기 데이터를 넣어 **득점 확률 예측, 권장 전략** 등의 인사이트를 생성해내기도 합니다. 이러한 실시간 데이터 분석은 팬들의 중계 시청 경험을 풍부하게 할 뿐만 아니라, 감독들이 경기 도중 전술을 조정하는 데 참고자료로 활용되는 등 경기 진행에도 영향을 주고 있습니다.

또한 **스트리밍 기술의 발전**과 클라우드 인프라의 결합으로, 축구 경기는 이제 전 세계 누구나 인터넷만 있으면 실시간 고화질 시청이 가능합니다. 수백만 명의 시청자가 동시에 접속하는 월드컵 결승이나 챔피언스리그 같은 경기는 시작 직전 엄청난 트래픽 폭주가 발생하는데, 클라우드의 **자동 스케일 업/다운** 기능과 전세계에 분산된 CDN(Content Delivery Network)을 통해 끊김 없이 영상이 전달됩니다. 서비스 제공자들은 클라우드 기반으로 서버 용량을 유동적으로 늘려 폭주하는 접속을 감당하고, 지역별 데이터센터를 활용해 지연 시간을 최소화합니다. 이를 통해 시청자는 스마트폰, PC, 스마트 TV 등 어떤 기기에서도 **수 초 이내의 지연으로 라이브 경기를 시청**할 수 있습니다. 최근에는 4K UHD 화질, HDR 영상도 표준이 되어가고 있어 대역폭 요구량이 큰데, 클라우드 기술이 이러한 고화질 스트리밍을 뒷받침하고 있습니다.

팬들을 위한 서비스 측면에서도 클라우드는 다양하게 쓰입니다. 예를 들어 토너먼트 대회 **티켓 예매 시스템**, **팬 SNS 플랫폼**, 실시간 **하이라이트 편집 및 송출** 등이 모두 클라우드 환경에서 구현되어, 전세계 팬들에게 지연 없는 서비스를 제공합니다. 특히 AI를 통한 **자동 하이라이트 생성**(경기 중 중요한 이벤트를 실시간 인식해 편집)이나 **다국어 자막/해설 자동 생성** 등은 클라우드의 AI 서비스로 가능해져, 팬들은 자신이 선호하는 언어와 방식으로 축구 콘텐츠를 소비할 수 있습니다. 이처럼 클라우드 컴퓨팅은 **축구 산업의 인프라 혁신**을 이끌며, 방대한 데이터의 실시간 처리와 글로벌 스트리밍 서비스를 원활히 지원하는 필수 요소로 자리매김했습니다.

3. 결론

오늘날 축구 산업에서 컴퓨터 과학의 중요성은 날로 커지고 있습니다. 데이터 분석을 통해 경기 전략을 정교화하고, 딥러닝으로 관정의 정확도를 높이며, 현실감을 극대화한 시뮬레이션 게임으로 팬들의 경험을 풍부하게 하고, 클라우드 인프라로 전 세계에 축구의 감동을 실시간 전파하는 모습은, **축구와 기술**이 함께 만들어낸 새로운 지평이라 할 수 있습니다.

축구는 전 세계를 하나로 묶는 스포츠이고, 컴퓨터 과학은 세상을 바꾸는 도구입니다. 이 둘의 융합은 이미 경기장의 안팎에서 혁신을 일으키고 있으며, 앞으로도 그 잠재력은 무궁무진하다고 생각합니다. 컴퓨터과학부 전공생으로서 이번 보고서를 작성하며 이러한 흐름을 찾을 수 있었고, 전공지식을 통해 축구 산업에 기여할 수 있는 많은 가능성을 발견할 수 있었습니다. 저는 앞으로 컴퓨터과학을 더욱 깊이 있게 탐구하고, 축구 산업이 필요로 하는 기술적 문제를 해결하는 개발자가 되어, 전 세계 축구 팬들이 더욱 몰입하고 소통할 수 있는 미래를 만들어 가고자 합니다.